

تشارلز سايف

فكّ شفرة الكون

كيف يفسّر علم المعلومات الجديد كل شيء في الكون



ترجمة وتقديم: أيمن أحمد عياد



تشارلز سايف

فكّ شفرة الكون

كيف يفسّر علم المعلومات الجديد كل شيء في الكون



ترجمة وتقديم: أيمن أحمد عياد

فكّ شفرة الكون

تأليف
تشارلز سايف
ترجمة وتقديم
أيمن أحمد عياد

رقم الإيداع: 21202/ 2012
الترقيم الدولى: 978-9953-582-44-3
الطبعة الأولى: 2012

الناشر: © دار التنوير
بيروت ـ القاهرة ـ تونس
هذه ترجمة كاملة لكتاب:
Decoding the Universe
How the New Science of Information Is Explaining Everything in the Cosmos,
From Our Brains to Black Holes

للطباعة والنشر والتوزيع
لبنان: بيروت ـ الجناح ـ مقابل السلطان إبراهيم
سنتر حيدر التجارى الطابق الثانى هاتف وفاكس 009611843340
مصر: القاهرة ـ وسط البلد ـ 8 شارع قصر النيل ـ الدور الأول ـ شقة 10
هاتف: 00201007332225 – 0020227738931 فاكس: 0020227738932
البريد الإليكتروني: info@dar-altanweer.com
الموقع الإليكتروني: www.dar-altanweer.com
تصحيح لغوى: رفعت فرج
التنفيذ الطباعى: مطابع المتروبول مصر

فكّ شفرة الكون
>كيف يفسر علم المعلومات الجديد كل >شيء في الكون

>من أدمغتنا إلى الثقوب السوداء

تشارلز سايف

ترجمة وتقديم

أيمن أحمد عياد

إهداء المترجم

إلى أبي وأمي، والأم أولًا بالطبع...

مُقدِّمة المترجم

يتشكلّ وعيُنا الإنساني كتراكُم لتطوّر التفاعل بين الإمكانات الموروثة في دماغنا البشري وبين بيئتها الاجتماعية، ويتجلّى هذا الوعي عبر وسيط يتمثّل في اللّغة. فبدون اللّغة ما كان لنا مراكمة هذا الوعي الذي بدأ بالسحر ولم ينته بأعقد النظريات العلمية مرورًا بالفلسفة والدين. كيف بدأ الكون والحياة وكيف سينتهيان؟ يبقى هذا السؤال المركّب مطروحًا حتّى اللحظة التي سينتهي فيها وجودنا كمخلوقات واعية على هذا الكوكب المنزوي في مجرّة ضمن ملايين المجرّات في هذه الأكوان اللامتناهية. ويبقى العلم، وحده، هو المسبار الموضوعي للإجابة عن هذا السؤال خلال رحلتنا لتفسير الظواهر الطبيعية، من انشطار الذرّة حتّى انقسام الخلية وتشكّل الكائنات الحيّة. لقد زعم الإنسان ـ دون سائر الكائنات الحية ومنذ فجر وعيه ـ أنّ هناك علاقة سببية بين وجوده وبين نشأة الكون. وتمثّل هذا الزعم في العديد من الروايات الأسطورية التي تبلورت في فلسفات وديانات أخذت على عاتقها الإجابة عن هذا السؤال الخاصّ بمعنى وجودنا وبالحياة وما بعدها.

كان أول خدش علمي لنرجسيّة وعينا البشري عند اكتشاف كوبرنيكوس لدوران الأرض حول الشمس بدلًا من الرؤى الميتافيزيقية التي وضعت الكوكب الأزرق في مركز عناية الإله القدير، كما كان جرح نرجسيّتنا الحقيقي بعد طرح شارلز داروين لتصوّره العلمي عن أصل الأنواع الذي خلص فيه إلى انحدارنا من القردة العليا عبر سلسلة طويلة من التطوّر المتعرّج ممّا هدّد الأساطير القديمة وسبّب إرباكًا، وما زال، في بعض الأوساط الدينية، وجاء سيجموند فرويد ليُطيح بآخر مزاعمنا النرجسية عن الرُّقي والتحضُّر والتمايز عن سائر المملكة الحيوانية بعد اكتشافه للّاوعي وإثباته للعب الغريزة دورًا أساسيًّا في سلوكنا وإن كان قد أَولى اهتمامًا مبالغًا للغريزة الجنسية. لقد تعدّدت محاولات البشر لتقديم رؤية وتفسير لوجودهم، وكان للأسطورة نصيب الأسد في تلك المحاولات، حيث كانت أدوات ووسائل العقل البشري لا تزال قاصرة على التأمُّل والتخيّل والتوهّم، ومع تطوّر الوعي البشري لعب العلم دورًا حاسمًا في هذه المحاولات، بعد أن حقّق عدّة قفزات متسارعة كمتوالية هندسية، حتّى إنّ الفلسفات والديانات التي ناقضت العلم ظاهريًّا لم تستطع إلا أن ترضخ أمام حقائقه الدامغة، كما اضطرّت إلى توفيق أوضاعها وتأويل مقولاتها المقدّسة وإعادة تفسيرها لكي تتماشى مع كلمة العلم.

وعبر تاريخٍ يمتدّ لآلاف من السنين راكمت البشرية معرفتها العلمية على ضوء جدل الفكرة والتجربة، حيث لم يُغنِ التفكير والتأمّل والاستدلال والاستنتاج والقياس والاستنباط والابتكار عن ضرورة التجربة وقابليتها للتكرار، وهذا هو الحدّ الفاصل بين الأسطورة وبين العلم في أرقى نظريّاته وأعقدها. فالتجربة، أو القابلية للتجريب، هي المعيار المميّز للأفكار العلمية. ولا يمكننا الحديث عن جدّية الفكرة العلمية دون إخضاعها للتجريب العملي أو اختبار صحّتها مع قوانين العلم. وقد أدرك الإنسان حقيقة أنّ العلم هو الوسيلة الفعّالة للتغلّب على العقبات التي تجابه وجودنا ذاته، من مقاومة الأمراض إلى تلبية احتياجاتنا بالإضافة إلى الكوارث الطبيعية وبعض المخاطر التي قد تهدّد حياتنا على الكوكب. لقد ساعدنا العلم على الغوص في أعماق المحيطات دون أن يكون لنا خياشيم وعلى الطيران فوق السحاب دون أن نمتلك أجنحة، كما قادنا إلى التوغُّل داخل

عالم الخلية الدقيق وإلى التحليق في أركان الفضاء الفسيح، وقد تحقّق ذلك من خلال العقل الإنساني المشحوذ بالمعارف العلمية المتراكمة.

يقدّم هذا الكتاب رؤية بانورامية شاملة لسعي الإنسان الحثيث إلى تفسير الظواهر الطبيعة التي يقابلها والتغلُّب على الصعوبات التي يواجهها. فليس هناك متعة أكثر من حلّ ألغاز الكون، كيف بدأ وكيف تشكلّ؟ ولماذا سارت الأمور وتسير على هذا النحو؟ وما القوانين التي تتحكّم في حركة أجزائه؟ وما المصير الذي ينتظره؟ وهل توجد أكوان أخرى غير هذا الكون الذي نعيش فيه؟ ما طبيعة الحياة؟ وهل لها غاية؟ وهل هناك حيوات أخرى؟ وكيف يمكننا كبشرٍ تفسير ما لا يُفسّر، حيث تتحطّم أدواتنا المعرفية من المعادلات الرياضية إلى القوانين الفيزيائية حتّى المبادئ والأسس التي يقوم عليها العلم نفسه، كما يحدث في الثقوب السوداء أو في اللّحظة التي سبقت الانفجار العظيم. قد ينكص الوعي البشري إلى مرحلة التخيّل والتصوّر والتوهّم، وهي المرحلة التي تخضع للشروط الذاتية بأكثر من خضوعها لموضوعية وعينا المشترك، وقد تستردّ الأسطورة أنفاسها بعد لهاثها الطويل أمام ضربات العلم التي توالت على مرّ آلاف السنين، لكن يبقى العلم وسيظلّ نبراسًا لوعينا الإنساني باتجاه معرفة بشرية ترتقي بنا وتلبي طموحاتنا في حياةٍ تليق بمعجزة وجودنا كمخلوقات حيّة ـ حتّى الآن ـ بمقدورها إعادة صياغة العالم الذي تعيش فيه.

في هذا الكتاب «فكّ شفرة الكون» يحاول المؤلّف الإجابة عن هذه الاسئلة اعتمادًا على أحدث نظريات المعرفة الإنسانية المتمثّلة في «نظرية المعلومات» وهي النظرية المعنيّة بتقديم تفسير بشري لمظاهر هذا الكون المرئي وظواهره كافّة بل وللأكوان غير المرئية. حيث يرى المؤلِّف أنّ المعلومات تقدِّم تفسيرًا لوجود الكون، كما أنّها الأساس لنشوء الحياة على كوكب الأرض ولا يستبعد بالتالي وجود حيوات أخرى في أركان هذ الكون الشاسع، ويقدّم تفسيرًا معقّدًا لتكاثر الكائنات الحية كسبب لإعادة إنتاج هذه المعلومات لنفسها، وتفسيرات أكثر تعقيدًا لمعنى الوجود.

ووفقًا لما يراه المؤلّف فإنّ مجمل حضارتنا الإنسانية في سبيلها إلى الاختفاء والزوال حسب ما تطرحه آخر نظريات العلم المعقّدة، كما بشّرت بذلك الأديان والفلسفات القديمة التي ادّعت فناء البَشر في العالم المادي المُعاش. ولكنّ الفرق يكمُن في أنّ العلم عندما يطرح هذه المقوله فإنه يطرحها بلا وعظ وإرشاد، بل يطرحها كحقيقة مجرّدة من أيّ وازع أو نوازع سوى البنية الداخلية التي تحملها المعادلات والقوانين العلمية الخالية من علاقات سببية بين وجودنا وغاية هذا الوجود وبين إدراكنا لهذا الوجود. ومن ثَم يبقى التساؤل عن معنى وجودنا وغايته، سؤالًا بلا معنى بل امتدادًا لنرجسيّتنا التي تدفعنا لمقاومة الاعتراف بحقيقة أنّنا نعيش على كوكب منزوٍ في ركنٍ تافهٍ من هذا الكون الفسيح، بما يفوق التفسيرات التي تقدّمها الفلسفات والأديان القديمة حول سبب وجودنا وغايته. قد لا يزيد وعينا بالكون عن وعي نملة بالتنوّع الهائل الموجود على كوكب الأرض، وبالقوانين التي تتحكّم في حركة بحاره ومحيطاته وصحاريه وجباله وملايين الكائنات الحيّة التي تعيش عليه، وقد يكون وعينا قاصرًا قصور النملة عن فَهم قوانين ميكانيكا الكمّ أو إدراك تجارب ارتياد الفضاء أو تفسير نشوء الكون والمجرّات والكواكب والنجوم بل ووجود الأكون المتوازية.

يستند المؤلّف في تفسيره لكلّ هذه الظواهر على المعلومات، باعتبارها تجريد العقل البشري للظواهر الطبيعية، ويرى إمكانية إرجاع كلّ شيء واختزاله إلى مجرّد معلومات معتمدًا في ذلك على التطوّر المهول الذي حقّقته علوم الكمبيوتر وتطبيقات ميكانيكا الكمّ. حيث يمكن اختزال كلّ

الأحداث اليوميّة والكونيّة إلى مجرّد دفقات معلوماتية يمكن قياسها وحساب قيمتها ومقدارها. وتأتي مصطلحات مثل «الانتروبيا» و«التشبيك الكمِّي» و«تطابق التراكب» و«الثقُوب السوداء» لتزيد من غموض محاولات تفسير الكون. وهنا يحدث تماسّ مدهش بين ما ادّعته الفلسفات والأديان القديمة وبين العلم فيما يمكن أن نسمِّيه «ميتافيزيقا العلم». حيث لا يمنع العلم وجود عوالم أخرى موازية تشبه تمامًا وتوازي عالمنا المُعاش كما لايمنع إمكانية تجميع المعلومات التي فُقدت بالتحلّل ومن ثَم إعادة إنتاجها. ويطرح العلم رؤية جديدة لمفهوم الخلود حيث يمكن خلق أو إظهار شيء من العدم ثم اختفاؤه، ومع أنّ الكتاب يسعى للتأكيد على تماسُك النظريّات العلمية، إلا أنّه في المقابل يطرح تصوّرًا يتجاوز أيّ مطلق بما في ذلك سرعة الضوء وقانون حفظ الطاقة وبقائها.

تقف المجتمعات البشرية الآن عند مفرق طُرقٍ: العلم أو الأسطورة، وبعد أن تسيّدت الأسطورة وعيَنا لآلاف السنين وتحوّلت من وسيلة لتفسير العالم إلى السيطرة عليه، جاء العلم ليقدِّم لنا رؤية أكثر إنسانية، عبر تقديمه لحلول ملموسة للمعضِلات التي تواجهنا وتلبية الاحتياجات التي نطلبها، إذ يتجلّى العلم في كلّ مظاهر حياتنا التكنولوجية، ويمكننا اعتبار العلم اليوم «سفينة نوح» التي ستنقذنا من الغرق في بؤس هذا العالم عبر خلاصنا من روح الجهل والتخلّف التي لن يعصمنا منها إخلاص النوايا وطيب المقاصد، ويمكننا بالعلم، وحده، أن نحطّ لأول مرّة على شاطئ إنسانيتنا بلا كُرهٍ أو أنانية أو ضغينة، وعلى ضوء العلم يمكننا تهذيب الأخلاق ووضع سُلّمٍ جديد للقيم التي سترشدنا إلى آدميتنا بعد اغترابنا طويلًا في الخرافة والأساطير.

لقد أتاحت لي ظروف العمل بمدينة سواكن بشرق السودان فرصةً لإنجاز هذه الترجمة، وقد شرعت في ترجمة هذا الكتاب، على أمل استكمال جهود روّادٍ عظام وضعوا نصب أعينهم الارتقاء بشعوب هذه الأمّة التي لامست حدود المجد عندما ترجمت العلوم وانفتحت على فلسفات العالم، وهي الجهود التي مالبثت أن تعثّرت كما تعثّرت الجهود الرامية إلى خلق المجتمع الحديث، لأسباب ليس هنا مجال الاستفاضة في دوافعها. ولا يجانبني الصوابُ إذا زعمت أن الكلام الدائر الآن عن مشاريع للنهضة هنا وهناك، لا يعدو كونه لغوًا فارغًا من أي مضمونٍ عملي إذا لم يتم اعتماد التفكير العلمي باعتباره المصدر الأساسي لحلّ مشاكلّ التنمية التي تتوق إليها شعوبنا. وبدون الارتقاء بمستوى التعليم ودعم البحث العلمي وإعادة الاعتبار للتفكير العلمي ورعاية مشروع قومي للترجمة يستهدف الوصول إلى طلاب المدارس والجامعات، فلن يكون هناك أمل في استقلال إرادة أوطاننا ولا تحقيق أهداف الانتفاضات الشعبية التي طالبت بالحرية والكرامة الإنسانية والعدالة الاجتماعية.

وأتمنّى أن يكون هذا الكتاب بداية لسلسلة من الترجمات العلمية التي تُعنى باطّلاع القارئ العربي على آخر منجزات العلوم التطبيقية كالفيزياء والكيمياء وعلوم الكون والحياة. على أمل المساهمة في إشعال مصباح داخل هذا النفق المظلم الذي ما زلنا نتخبّط فيه منذ قرون وقرون.

أيمن أحمد عيّاد

نوفمبر 2012

شكر وتقدير

هذا الكتاب نتاج سنوات من البحث والمناقشة، وسيكون من المستحيل تقديم الشكر لكلّ من أسهم في هذا. فالعديد من علماء الفيزياء، والكمّ، والكونيّات، والفلك، والبيولوجيا، والتشفير، والعلماء الآخرين الذين تعاملوا معي بسخاء - ليس فقط لقضائهم الوقت معي لشرح أعمالهم، بل لقيامهم بذلك بحماسة مفرطة.

مرّة أخرى، أودّ أن أشكر المحرّر ويندي وولف Wendy Wolf، ودون هومولكا Don Homolka الذي أعدّ هذه المخطوطة للطبع، ووكيلي جون بروكمان John Brockman وكاتينكا ماتسون Katinka Matson. كما أودّ أيضًا أن أشكر أصدقائي وأحبّائي الذين شاركوني الأفكار وكانوا خير عونٍ لي، ومنهم أوليفر مورتون Oliver Morton، وديفيد هاريس David Harris، وميرديث والترز Meridith Walters، وبالطبع أخي، وأمي، وأبي.

فشكرًا لهم جميعًا.

مقدّمة المؤلّف

«كلّ شيءٍ مصنوع من مادّة خام خفية واحدة»

ـ رالف والدو إمرسون

الحضارة فانية، قد لا يكون هذا أول ما تودّ قراءته عندما تلتقط كتابًا ما، لكنّها الحقيقة. فالإنسانية ـ ومجمل الحياة في الكون ـ في طريقها للفناء. لن يجدي ساعتها مستوى التطوّر الذي بلغته حضارتنا، أو تطويرنا لتكنولوجيا قد تمكننا من التنقّل بين النجوم، أو بلوغ متوسط أعمارنا الستمئة عام، وأمامنا فقط وقت محدود قبل إبادة آخر مخلوق في هذا الكون المرئي؛ لأنّ قوانين المعلومات تقرّر مصيرنا تمامًا، كما تقرّر مصير الكون نفسه بالضبط.

تستدعي كلمة «المعلومات» إلى الذهن صورة أجهزة الكمبيوتر والأقراص الصّلبة والإنترنت فائق السرعة، وعلى أيّ حال فظهور أجهزة الكمبيوتر وازدياد شعبيتها صار يُعرف الآن بثورة المعلومات، إذ يعدّ علم الكمبيوتر أحد التجليّات البسيطة جدًّا للفكرة الشائعة والمعروفة بنظرية المعلومات information theory. وبينما تحدّد تلك النظرية في الواقع الكيفية التي تعمل بها أجهزة الكمبيوتر فإنها تقوم بما هو أكثر من ذلك بكثير، فهي تحكم سلوك الأجسام على عدّة مستويات مختلفة، وتخبرنا بطريقة تفاعل الذرات مع بعضها البعض وبكيفية ابتلاع الثقوب السوداء black holes للنجوم، كما تصف قوانينها طريقة فناء الكون وتلقي بالضوء على طريقة بنائه. وحتّى لو لم يوجد شيء كالكمبيوتر، فإنّ نظرية المعلومات ستبقى كأعظم ثالث ثورة في فيزياء القرن العشرين.

تعتبر قوانين الديناميكا الحرارية thermodynamics ـ القوانين التي تحكم حركة الذرات في جزء من المادّة ـ قبل كلّ شيء، قوانين عن المعلومات. ونظرية النسبية theory of relativity التي تصف طريقة تصرّف الأجسام عند السرعات القصوى تحت تأثير الجاذبية القوي، هي في الحقيقة نظرية للمعلومات. كذلك، فإنّ نظرية الكمّ quantum theory التي تحكم مجال الأجسام متناهية الصغر لا تعدو كونها نظريةً للمعلومات. إنّ مفهوم المعلومات ـ الأوسع من مجرد محتويات القرص الصلب ـ يجمع بطريقة لا تصدّق كلّ هذه النظريّات معًا في فكرة قوية واحدة.

تكتسب «نظرية المعلومات» قوتها من أنّ المعلومات مادّية، وليست مجرد مفهوم تجريديّ، ولا مجرّد حقائق أو أرقام أو تواريخ أو أسماء، إنّها الخاصّية الصلبة للمادّة والطاقة والتي يمكن قياسها وتقدير كمّيتها. إنّها كلّ بتة bit حقيقية مثل وزن قطعة رَصاص أو مقدار الطاقة المختزَن في رأسٍ نووي. وكما في الطاقة والمادّة، تتحكّم عدّة قوانين فيزيائية في المعلومات وتحدّد الطريقة التي تتصرّف بها ـ كطريقة تناولها ونقلها ومضاعفتها ومحوها أو تدميرها. وكلّ شيء في الكون يجب أن يكون خاضعًا لقوانين المعلومات؛ لأنّ كلّ شيء في الكون يتشكل بالمعلومات التي يحتويها.

لقد ولدت فكرة المعلومات من الفنّ القديم لإنتاج الشفرات وتفكيكها. لقد كانت هذه الشفرات تخفي أسرار الدولة في الواقع، كطريقة لحجب المعلومات أثناء نقلها من مكان لآخر. وعندما أصبح فنّ تفكيك الشفرات مرتبطًا بعلم الديناميكا الحرارية ـ وهو فرع من الفيزياء يصف سلوك المحرّكات

وتبادل الحرارة وإنتاج الشغل ـ نتج عن ذلك نظرية المعلومات. فكانت هذه النظرية الجديدة للمعلومات بمثابة فكرة ثورية بالقدر نفسه الذي كانت عليه نظريتَا «النسبية» و«الكمّ»، حيث إنها قد غيّرت للأبد مجال الاتصالات كما قامت بتعبيد الطريق أمام عصر الكمبيوتر، ولم يكن هذا سوى البداية. فخلال عقد من الزمان بدأ علماء الفيزياء وعلماء البيولوجيا في إدراك أن أفكار نظرية المعلومات مهيمنة أكثر بكثير من كونها مجرد بتات bits وبيتات bytes الكمبيوتر والشفرات والاتصالات: فراحوا يصفون العالم ما تحت الذري وأشكال الحياة على الأرض كافّة بل والكون بكامله.

كلّ كائن على الأرض مخلوق من المعلومات، فالمعلومات تقبع في مراكز خلايانا، وتتحرّك بسرعة في ثنايا أدمغتنا. لكنّ الكائنات الحيّة ليست هي فقط التي تتعامل مع المعلومات وتقوم بمعالجتها، فكلّ جسيم في الكون كلّ إلكترون وكلّ ذرّة وكلّ ما لم يتم اكتشافه بعد معبّأ بالمعلومات ـ معلومات لا يمكننا الوصول إليها غالبًا، لكنّها المعلومات التي يمكن نقلها ومعالجتها وتبديدها أيضًا. وكلّ نجم في الكون وكلّ مجرّة من تلك المجرّات التي لا يمكن حصرها في السماء معبّأ تمامًا بالمعلومات، المعلومات التي يمكنها الإفلات والارتحال بعيدًا. تلك المعلومات التي تتدفّق دائمًا وتنتقل من مكان إلى مكان منتشرة في أرجاء الكون.

لقد اتضح أن المعلومات تشكّل كوننا بالمعنى الحرفي للكلمة، وربّما تحدّد حركة المعلومات التركيب المادّي للكون إلى حدّ بعيد. ويبدو أنّ هذه المعلومات تقع في قلب أعمق تناقضات العلم الظاهرية ـ كأُحجية النسبية وميكانيكا الكمّ ـ مثل نشوء ومصير الحياة في الكون، أو طبيعة القوّة التدميرية الهائلة للثقوب السوداء أو الترتيب الخفي لما يبدو أنه كونٌ عشوائي.

لقد بدأت قوانين المعلومات في إماطة اللثام عن إجابات لأكثر أسئلة العلم عمقًا، لكنّ هذه الإجابات بدت بطريقة ما أكثر غرابة وإرباكًا من تلك التناقضات الظاهرية التي سعت إلى حلّها. فالمعلومات تقودنا لتكوين صورة عن كون يسرع خطاه باتجاه هلاك مخلوقاته الحيّة كما لو كانت عالة متطفّلة عليه، وتؤدّي بنا إلى تصوّر لا يمكن تصديقه عن كون بيزنطي يتألّف من تجمّع هائل من الأكوان المتوازية.

إنّ قوانين المعلومات تمنح علماء الفيزياء طريقًا لفهم الألغاز الأكثر إبهامًا والتي لم تخطر على بال بَشر من قبل، إلا أنّها ترسم لنا صورة أكثر تجهّمًا كما لو كانت لوحة سريالية.

الفصل الأول

الإسهاب

«أيّها السادة لاتقرأوا البريد الإليكتروني الخاصّ بالسادة الآخرين»

ـ هنري ل. ستيمسون

«ايه اف بها نقص مياه» تلك هي الكلمات الخمسة التي أغرقت الأسطول الياباني. ففي ربيع عام 1942 حيث كانت القوّات المسلّحة الأمريكية تترنّح بتأثير سلسلة متتالية من الهزائم، كانت البحرية اليابانية ذات الذراع الطولى في المحيط الهادي تندفع بقوّة تجاه الأراضي الأمريكية. ومع أنّ الوضع كان رهيبًا إلا أنّ خسارة الحرب لم تحدث، فقد كان مفكّكو الشفرة الأمريكان على وشك استخدام سلاح لايقلّ أهميّة عن القنابل والمدافع: إنّه سلاح المعلومات.

لقد قاموا بتفكيك الشفرة JN-25، وهي الشفرة التي كانت تستخدمها البحرية اليابانية، وكانت عصيّةً على الحلّ. لكن بحلول شهر مايو من عام 1942 نجح مفكّكو الشفرة بشقّ الأنفس في الولوج إلى الدهليز الرياضي لتلك الشفرة وكشفوا عن المعلومات المخبّأة بداخلها.

وطبقًا للرسائل التي تمّ اعتراضها وتفكيك شفرتها، فإن قاعدة أمريكية اسمها الرمزي ايه اف AF كانت على وشك التعرّض لهجوم بحري كبير. وقد عرف مفكّكو الشفرة الأمريكان أن ايه اف عبارة عن جزيرة في المحيط الهادي (أغلب الظنّ في القطاع الأوسط) لكنّهم لم يعرفوا على وجه الدقّة أيّ جزيرة بالضبط. فإذا قاموا بتخمين خاطئ، فسوف تدافع البحرية الأمريكية عن جزيرة أخرى غير تلك المقصودة، وسيكون بمقدور العدوّ اجتياح هدفه الحقيقي بلا مقاومة، لكن إذا استطاع مفكّكو الشفرة تحديد الجزيرة التي تعنيها كلمة ايه اف وتوقّعوا هدف الأرمادا اليابانية، فسيتمكّن الأمريكان من تركيز أسطولهم لضرب القوّة الغازية. كان كلّ شيء ـ الحرب في المحيط الهادي ـ معلّقًا على هذا الجزء المفقود من المعلومة: أين تقع ايه اف؟

وضع القائد جوزيف روشفورت Joseph Rochefort، رئيس مركز تفكيك الشفرات بالبحرية الأمريكية في بيرل هاربور، مخطّطًا للحصول على هذا الجزء المفقود من المعلومة، فأصدر أمرًا لقاعدة موجودة في القطاع الأوسط لكي تقوم بطلب المساعدة عن طريق الهاتف، بحيث تنصّ المحادثة على أن محطّة تحلية المياه في «جزيرة القطاع الأوسط» قد أصيبت وأنّ القاعدة بدون مياه نقيّة تقريبًا. وقد استمع اليابانيّون الذين كانوا يتنصّتون على مراسلات القطاع الأوسط لهذا الإرسال أيضًا، وهو ما كان روشفورت ينتظره بالضبط. ولم يمضِ وقت طويل على إرسال تلك الرسالة الهاتفية، حتّى التقطت مخابرات البحرية الأمريكة رسالة خافتة لليابانيّين على الموجات الهوائية: «ايه اف بها نقص مياه». وهكذا حصل روشفورت على الجزء المتبقّي من المعلومة. ايه اف تقع في القطاع الأوسط.

وقد تجمّع الأسطول الأمريكي للدفاع عن الجزيرة. وفي 4 يونيو 1942، وقَعت القوّات الغازية بقيادة الأدميرال ايسوروكو ياماموتو Isoroku Yamamoto مباشرة في قبضة القوّات البحرية المتأهّبة بقيادة الأدميرال شيستر نيميتز Chester Nimitz. وأثناء تلك المعركة هوت إلى القاع، أربع حاملات طائرات يابانية ـ هيريو Hiryu، سوريو Soryu، أكاجي Akagi، كاجا Kaga ـ

في مقابل فقدان حاملة طائرات أمريكية واحدة. وعاد الأسطول الياباني الكسيح إلى دياره وهو يجرّ أذيال الخيبة. لقد خسرت اليابان المعركة، وبالتالي خسرت الحرب في المحيط الهادي، ولم تعد البحرية اليابانية تشكّل خطورة على الأراضي الأمريكية مرّة أخرى، وبعدها بدأت الولايات المتحدة أطول هجوم عسكري وأصعبه على الأراضي اليابانية. فقد تسرّب جزءٌ ثمينٌ من المعلومات، عن هدف غزو ياماموتو، خلال عملية حماية الرموز والشفرات وهو ما منح أمريكا نصرها الحاسم(*).

كانت الحرب العالمية الثانية أول حرب للمعلومات، وكما استخلص مفكّكو الشفرة الأمريكان المعلومات من الشفرة JN-25 ومن شفرات الإمبراطورية اليابانية، قامت صفوة من مفكّكي الشفرة الإنجليز والبولنديين بتفكيك شفرة إنيجما Enigma الألمانية التي كان يُفترض أنّها عصيّة على التفكيك. وكما سمحت المعلومات للولايات المتحدة بهزيمة اليابان، فإنّ معلومات الانيجما قد مكّنت الحلفاء من هزيمة اليوبوتات U-boats النازية التي كانت تضيّق الخناق على بريطانيا العظمي.

وكما أنّ الصراع على المعلومات قد ترك بصماته على وجه الحرب، تركت الحرب بصماتها على وجه المعلومات. فخلال الحرب العالمية الثانية، بدأ تحوّل عملية التشفير من مجرّد كونها فنًّا لتصبح علمًا. وكان مفكّكو الشفرات داخل غرف التشفير الحارة بهاواي أو في المباني العتيقة بإنجلترا روّادًا للثورة التي باتت تُعرف بنظرية المعلومات.

كان مصمّمو ومفكّكو الشفرات على صلة وثيقة دومًا بما سيصبح نظرية للمعلومات. إلا أنّه، ولآلاف السنين، لم يكن لديهم أيّ فكرة عن كونهم يقومون بغزوات تجريبية في أحد مجالات العلم الجديدة كلّيًا. وعلى العموم يعدّ التشفير أقدم من العلم، حيث قام الملوك والقادة العسكريّون مرارًا وتكرارًا في العصور القديمة ـ معتمدين على الرسائل المخبّأة والمعلومات المستترة خلف الرسائل المشفّرة والمؤمّنة تأمينًا بسيطًا ـ بمحاولات تطلّبت منهم المراوغة والتعامل بحذرٍ للتغلّب على مخاطر نقل المعلومات.

يرجع تصميم الشفرات إلى فجر الحضارة الغربية، ففي عام 480 ق. م. كاد الإغريق أن يخضعوا للغزو على يد الإمبراطورية الفارسية التي كانت أعظم قوّة، إلا أنّ رسالة سرّية مخفيّة بالشمع على أحد أقراص الكتابة قد حذّرت من هذا الغزو المرتقب. وبدأ الإغريق بعد أن تمّ تحذيرهم عن طريق هذه الرسالة بالاستعداد للحرب فورًا، فقاموا بمهاجمة قوّات البحرية الفارسية بضراوة في معركة سلاميس Salamis واضعين بذلك نهاية للتهديد الفارسي ومبشّرين بالعصر الذهبي للإغريق. ولولا هذه الرسالة المخبّأة، لم يكن بمقدور تجمّع ولايات المدينة الإغريقية الهشّ مقاومة قوّة الأسطول الفارسي الفائقة، ولكانت البلاد الإغريقية قد أُخضعت للفتح الفارسي، ليكون مآل الحضارة الغربية مغايرًا بشكلٍ كامل.

وقد غيّر الفشل في محاولة نقل المعلومة أحيانًا من مسار التاريخ. فكم من رؤوس قد تدحرجت بسبب اكتشاف رسالة سرّية أو نتيجة لشفرة تم تفكيكها. ففي العام 1587، اقتيدت ماري Mary ملكة أسكتلندا إلى ساحة الإعدام بسبب شفرة رديئة. حيث إنّها قامت أثناء وجودها في السجن، بالتخطيط لمؤامرةٍ لقتل الملكة إليزابيث Elizabeth والاستيلاء على العرش الإنجليزي. ولأنه كان يجرى تفتيش كلّ ما كان يدخل أو يخرج من السجن، فقد لجأت ماري إلى التشفير لكي

تتواصل مع أنصارها. فقامت مع شركائها في المؤامرة بابتكار شفرة لهم، وتداولوا عددًا من هذه الرسائل المشفّرة التي كان يجرى تخبئَتها في سدادات براميل البيرة. ولسوء حظّ ماري فإن السير فرنسيس ولسينجهام Sir Francis Walsingham رئيس المراقبين الإنجليز، قد اكتشف هذه الرسائل وقام بحلّ شفرتها. حتّى إنه قام بزرع رسالة زائفة باعتبارها من ماري وموجّهة للمتآمرين تحثّهم فيها على الكشف عن أسماء كلّ الرجال في جمعيّتهم السرّية. وعندما مثلت الملكة ماري أمام المحكمة بتهمة الخيانة كانت هذه الرسائل هي المستند الرئيسي، فكان مصيرُها شفرةً مفكّكة وضربتَي فأسٍ على الرأس.

تتّخذ الرموز والشفرات أشكالًا عديدة مختلفة، لكنّها جميعًا لها هدف واحد، وهو نقل المعلومات من شخص إلى آخر. في الوقت نفسه ينبغي أن تكون عملية النقل تلك آمنة بحيث تمنع المتنصّتين من الحصول على هذه المعلومات إذا ما تمّ اعتراضها. ولم تكن الشفرات آمنة بشكل جيّد خلال معظم فترات التاريخ، فبقليل من التركيز كان بمقدور أيّ من مفكّكي الشفرة الأذكياء حلّ أعقد الرموز المشفّرة. ومع ذلك، فقد اعتمد الملوك والقادة العسكريين على تلك الطريقة العقيمة للترميز، حيث كان اعتراض الرسائل وتفكيك شفرتها يعني غالبًا الموت أو الهزيمة، وكان إرسال الرسائل الحسّاسة مخاطرة دائمة، لكنّها كانت مخاطرة ضرورية وجزءًا أساسيًّا من شؤون الدبلوماسية والحرب.

ليس مهمًّا الطريقة التي يستخدمها مصمّمو الشفرات في التلاعب بالكلمات والرموز والأرقام وكتب التشفير، وليس مهمًّا كيف كانوا يُخفون الرسائل ببراعة في ثقوب البراميل أو داخل ثمار القرع العسلي أو حتّى ضمن قصيدة شعر. إذ كانت هناك دومًا مخاطرة لا يمكن تجنّبها، كأن تكتشف تلك الرسائل ذات الأهمية القصوى أثناء نقلها من مكان إلى مكان. وكما كان الجنرالات يقومون بنقل القوات والجيوش والإمدادات من الوطن إلى الجبهة والعودة مرّة أخرى، فقد كان عليهم أيضًا نقل المعلومات. كانت هذه المعلومات وهي في طريقها، تشمل أي بتة ملموسة مثل «وزن طلقة الرصاص» أو «ثقل غلاف المدفع» أو وجود «شاحنة معبّأة بالذخائر».

وتعتبر الخاصية الجوهرية للمعلومات بكونها حقيقية وملموسة مثل الكتلة والطاقة والحرارة من أصعب الأشياء التي يمكن قبولها، إذ لا يمكنك رؤية أيٍّ من هذه الخصائص مباشرة لكنّك تتقبّلها كحقيقة. فالمعلومات حقيقية تمامًا، ويمكن قياسها والتعامل معها كوزن التفاحة الذي يمكن تقديره بالميزان أو تقسيمه باستخدام سكين. ولهذا السبب كان القادة والجنرالات والدبلوماسيّون يتحمّلون المخاطرة دومًا باستخدام الرسائل ضعيفة التشفير. فالمعلومات يجب نقلها من المرسل إلى المستقبل كما تنقل سبيكة الذهب من فورت نوكس Fort Knox إلى مينت Mint، ولا توجد طريقة سحرية لنقل المعلومات بشكل ثابت ومستقرّ، كما لا يمكن نقل سبيكة الذهب في الهواء مباشرة من سرداب إلى سرداب. فحتّى أكثر الكمبيوترات تقدُّمًا لا بدّ أن يكون لديها وسيلة لنقل المعلومات من مكان إلى مكان، سواء عن طريق خطّ التليفون أو الكابل المحوري أو حتّى عبر الهواء بالاتصال اللاسلكي. فإذا أردت نقل معلومة من كمبيوتر إلى كمبيوتر آخر، فلا بدّ من أن يكون هذا الانتقال مادّيًا بطريقة ما.

ولأنّ للمعلومات وجودًا ملموسًا وقابلية للقياس ككتلة المادّة، فإنّ هذا يعني إمكانية فقدها أو سرقتها كما يتمّ سرقة مادّة ما بالضبط. وكما يجب على الشخص الذي يقوم بنقل كمّية من الذهب من مكان إلى آخر أن يتحمّل بشجاعة مواجهة مخاطر قطّاع الطرق أو اللصوص، فإنّ القائد الذي يرغب في

تبادل المعلومات عليه أن يتحمّل بشجاعة مواجهة خطر اعتراضها وتفكيك شفرتها. فالمعلومات مثل الذهب لا بدّ من نقلها وتحريكها من مكان لآخر حتّى يكون لها قيمة بالنسبة للبشر.

فوراء غموض عالم التجسّس الخفِي، على مصمّمي الشفرة ومفكّكيها البارعين أن يكونوا خبراء في التعامل مع المعلومات، وعند تصميمهم للرسالة المشفّرة عليهم العمل للتأكُّد من أنّ المعلومات سوف تصل من المرسل إلى المستقبل دون أن يكون بمقدور أي شخص آخر الوصول إليها. فلا يجوز أن تتسرّب المعلومات من الرسالة المشفّرة. وبالمقابل، فإنّ مفكّكي الشفرة الذين يعترضون رسائل العدوّ سيحاولون استخلاص المعلومات من خليط الحروف والرموز الذي يجري استقباله والذي يبدو بلا معنى، وهو ما يحدث في حالة الشفرة غير المتقنة، فتتسرّب المعلومات بالرغم من قيام مصمّمي الشفرة بأقصى جهودهم. حتّى إنّ أكثر مصمّمي الشفرة مهارةً لا يمكنه تحقيق المعجزة وضمان تشفير الرسالة وتوصيلها بأمان للمكان المطلوب، هنالك دومًا مخاطرة لاكتشافها.

وتعدّ الفكرة بأن ما يبدو تجريديًّا كالمعلومات يصبح شيئًا ملموسًا ويمكن قياسه فعليًّا، أحد المعتقدات المركزية في نظرية المعلومات. فقد ولدت هذه النظرية في الأعوام التي تلت الحرب العالمية الثانية مباشرة، حيث وضع علماء الرياضيات مجموعة من القواعد لتعريف المعلومات ووصف الطريقة التي تتصرّف بها. ولهذه النظرية يقين رياضيّ يندر وجوده في دنيا العلم التجريبي الفضفاضة، بحيث لا يمكن انتهاك قواعد تلك النظرية مثلما لا يمكن انتهاك قوانين الديناميكا الحرارية التي تمنع المخترعين من إنتاج آلة الحركة الأبدية. ومع أنّ المعلومات موجودة حولنا منذ قرون، إلا أن مصممي الشفرات قد بدأوا فقط خلال الحرب العالمية الثانية في تلمّس حدود هذه النظرية.

يتضمّن علم التشفير أول مفاتيح حلّ لغز طبيعة المعلومات. إنّه لا يقدّم لنا القصة كاملة، لكنّه سيعطينا فكرة عن كيفية أنّ المعلومات حقيقية وملموسة ويمكن قياسها ويجب حملها من مكان إلى آخر كسبيكة الذهب. ويعتبر الإسهاب redundancy أحد المحظورات على مصمّمي الشفرات، فهو يرتبط ارتباطًا وثيقًا بمفهوم المعلومات، ويمكن أن يساعدنا فهم الإسهاب في تفسير لماذا تكون المعلومات ملموسة مثل الذرّة في جزء من المادّة.

فعندما تستقبل رسالة ما حتّى لو كانت شيئًا بسيطًا مثل «السماء زرقاء»، سيتوجّب عليك أخذ تتابع الكلمات ومعالجتها لفهم معنى هذه الرسالة. فأنت تستقبل تتابعًا من علامات على الورق (أو صوت في الهواء) وتستخلص المعنى من تلك العلامات. ويقوم الدماغ بأخذ مجموعة مجرّدة من الخطوط والمنحنيات التي تعني أن «السماء زرقاء» ثم يتعامل مع هذه الرموز لفهم الرسالة على أنّها جملة عن لون السماء في الخارج. هذه العملية، استخلاص المعنى من مجموعة رموز، هي عملية لا واعية. إنّها شيء يتدرّب عليه الدماغ البشري منذ اللحظة التي يناغي فيها الأبوان طفلهما في مهده، وفيما بعد تصبح عملية استخلاص المعنى من الرموز عملية انسيابية، وهكذا تكون سلاسة اللّغة. مع ذلك، فهذه العملية اللاواعية ـ استخلاص المعنى من الرموز المتتابعة ـ تعدّ أمرًا حاسمًا في قدرتنا على استخدام اللغة. وهذا هو مفهوم الإسهاب، لأن الإسهاب هو ما يجعل الرسالة سهلة الفهم.

والإسهاب في جملة أو رسالة ما، هو المفاتيح الإضافية التي تسمح للمعنى بأن يكون مفهومًا حتّى لو كانت الرسالة مشوّشة بدرجة ما. وفي النهاية فان كلّ جملة في أيّ لغة من اللّغات تكون مليئة

بالإسهاب. فالجملة في اللغة الإنجليزية ـ أو أيّ لغة أخرى ـ تحتوى دائمًا على معلومات أكثر ممّا هو مطلوب لفهم ما تتضمّنه هذه الجملة، ومن السهل رؤية هذا الإسهاب. J-st tr- t- r--d th-s s-nt-nc-، تبدو الجملة السابقة مشوّشة بشكل كبير، فقد أُزيلت كلّ الحروف المتحرّكة من الرسالة(**). ومع ذلك، يبقى من السهل تفكيك هذا التشوّش واستخلاص معناه، فمعنى الرسالة يمكن أن يبقى بدون تغيير على الرغم من حذف بعض الأجزاء منها. وهذا هو جوهر الإسهاب.

بالنسبة للبشر فان الإسهاب يعدّ شيئًا جيّدًا، فهو يجعل فهم الرسالة أسهل، حتّى لو كانت مشوّهة جزئيًّا بفعل البيئة. وبفضله سيكون بإمكانك فهم صديق عندما يتكلّم معك في مطعم مزدحم أو يتحدّث إليك من هاتف خلوي مشوّش. فالإسهاب آلية آمنة تضمن وصول المعلومات حتّى لو أصابها عطب بسيط أثناء عملية نقلها. وكلّ اللغات لديها هذا البناء الداخلي من شبكات الأمان المكوّنة من الأساليب والتراكيب ومجموعة القواعد التي تجعلها مسهبة. أنت لا تدرك تلك القواعد في العادة، لكن عقلك يستخدمها بشكل لا واعي حين تقرأ أو تتكلّم أو تستمع أو تكتب ـ وفي كلّ مرّة تستقبل فيها رسالة لغوية من شخص ما. حتّى لو لم تكن تلك القواعد واضحة، فهي موجودة مع ذلك، ويمكنك أن تشعر بانسيابها إذا تلاعبت قليلًا باللغة.

خذ على سبيل المثال كلمة ليس لها معنى مثل fingry. لهذه الكلمة وقْع يوحي بأنها كلمة إنجليزية. في الحقيقة فإن منطوق الكلمة يوحي بأنها صفة «جي، إن رئيسك يبدو وكأنه fingry اليوم». لكن ماذا لو اختلقت كلمة أخرى بلا معنى: trzeci. بخلاف كلمة fingry فإن كلمة trzeci لا تبدو منطوقًا صحيحًا لكلمة إنجليزية إطلاقًا(***)، وهذا بسبب تلك القواعد المفهومة ضمنيًّا ـ وهي في هذه الحالة قواعد اللغة الإنجليزية. فحرف الـ z يندر استخدامه إلى حدٍّ ما في اللّغة الإنجليزية ولا يأتي إطلاقًا بعد الحرفين tr. والأكثر من ذلك، فإنه ليس من الشائع تقريبًا إنهاء الكلمة في اللغة الإنجليزية بالحرف i، لذا فإن كلمة trzeci لا تعطي الإحساس بأنّها كلمة إنجليزية. إنها تكسر القواعد غير المكتوبة عن خصائص الكلمات الإنجليزية السليمة. من جهة أخرى فإن fingry لها الشكل الصحيح من الحروف (والمنطوق) الذي يجعلها تبدو وكانها كلمة إنجليزية حقيقية، والنهاية gry– تعطى إشارة على أنّ الكلمة تعبر عن صفة.

يتعلّم العقل البشري هذه القواعد بشكل آلي ويستخدمها ليقوم باختبار صلاحية كلّ الرسائل التي يستقبلها. وبهذه الطريقة نفرّق بين الرسالة التي لها معنى وبين سلسلة الرموز والمقاطع اللفظية التي بلا معنى.

كلّ اللّغات لديها قواعد ضمن قواعد ضمن قواعد. فقواعد كلمة trzeci في مقابل كلمة fingry تعمل على مستوى الحروف والأصوات، إنها تحدد أي حروف أو أصوات تتبع الأخرى. لكن الكثير من القواعد الأخرى تعمل على مستويات مختلفة كذلك. ومع أنها تعمل بشكل لاواعي، فإنك لن تشعر بها إلا إذا كان هناك خطأ ما في الرسالة، لأنها تنطلق كتنبيه آلي. على سبيل المثال، هناك قواعد تحدّد أية كلمة ستأتي بعد الكلمات والعبارات الأخرى على الأرجح، ويراقب دماغك تلك القواعد اللغوية باستمرار، ممّا يجعلك تعرف لو أن ترتيب الكلمات قد استخدم بشكل خاطئ. وهناك أيضًا قواعد لفحص معنى الرسالة أثناء معالجتك لها. فحتّى أكثر الجمل صوابًا وإتقانا يمكن أن يبدو منطوقها غريبًا إذا لم تكن ممّا يتوقّعه دماغك بالضبط، وعندما يحدث ذلك ستصطك الكلمة الخاطئة فورًا بأذنك(****).

هذه القواعد موجودة في كلّ مكان. إنّها تخبرك بالفرق بين صوت الخنزير الذي بلا معنى وبين الأصوات المتناغمة ذات المعنى، بين الكلمات التي لا معنى لها وبين الكلمات الحقيقية، أو بين الجمل السخيفة وتلك المفعمة بالمعنى. بعض هذه القواعد يصلح عبر العديد من اللّغات الإنسانية، فهناك حفنة بسيطة فقط من الأصوات التي تحمل في ذاتها معنى في الكلام الإنساني. وهناك بعض القواعد الأكثر تخصصًا في لغات معينة، فالكلمات البولندية تظهر وتنطق بشكل يختلف كلّيًا عن الكلمات الإنجليزية لأن القواعد المتناظرة في اللغتين والتي تحدّد «سلامة الكلمات» مختلفة جدًّا. ولدى جميع اللّغات مجموعة هائلة من هذه القواعد التي تمنح اللّغة تركيبها وإسهابها.

عندما يطلق عقلك تنبيهًا عن كسر إحدى هذه القواعد، كأن يكون منطوق الكلمة ليس إنجليزيًّا أو كأن تحتوي الجملة على كلمة خاطئة، فإنه يخبرك أنّ تيار الحروف (أو الأصوات) الذي تتلقّاه لا يتوافق مع ما تتوقّعه منه كرسالة سليمة، كأن شيئًا ما ليس في مكانه، شيئًا ما مشوّه. وسيقوم عقلك باستخدام تلك القواعد والعمل بأثر رجعي، لتصحيح تلك المشكلة غالبًا. تمامًا مثلما يحدث في حالة وجود خطأ في تهجئة كلمة ما. فسيعمل عقلك بلا كللٍ على تطبيق القواعد المضبوطة للتهجئة حتّى يتمّ تصحيح تيار الرموز المشوّة، وستتمكن عندئذٍ من استخلاص معنى الجملة بالرغم من وجود هذا الخطأ، وليس هذا سوى أنّ الإسهاب يقوم بدوره.

هذه القواعد هي التي تسمح لك أيضًا بقراءة جملة حذفت منها الحروف المتحرّكة. فالقواعد الضمنية للّغة الإنجليزية تخبرك دومًا بان «th-s» هي على الأرجح this أكثر من كونها thms أو حتّى thes. فشكرًا للقواعد، لأنك ما زلتَ قادرًا على استخلاص معنى الرسالة حتّى لو قمتُ بكشط بعض جملها... طالما لم يتم إزالة الكثير جدًّا منها. لكن هناك نقطة لن يكون ممكنًا بعدها القيام بمزيد من التشويش أو ضغط الجملة دون أن تفقد معقوليّتها. قم مثلًا بكشط بعض الحروف أكثر من اللازم وستبدأ بفقد المعنى المتضمّن في الرسالة. وعندما تتخلّص من كلّ الإسهاب في سلسلة الحروف فإن ما سيتبقى، هو النواة الصُّلبة غير القابلة للانضغاط والتي يمكن قياسها. هذه هي المعلومات: إنّها الشيء المركزي الذي يقبع في قلب كلّ جملة وغير القابل للاختزال.

هذا تعريف تقريبي، فهو ليس كاملًا بقدر ما هو صحيح. فالمعلومات والإسهاب متكاملان، وعندما تزيل الإسهاب من سلسلة حروف أو رموز لهذا الغرض، فإن ما يتبقّى هو المعلومات. ويدرك علماء الكمبيوتر جيّدًا ذلك الجوهر الذي يتعذّر اختزاله في كلّ رسالة. وهو أمر هامّ عند تصميم، فلنقل، برنامج لضغط ملفات الكمبيوتر. فبرامج الضغط تسحق الملفّات ـ مثل التي تحتوي نَصّ هذا الكتاب ـ ولهذا فهي تشغل حيّزًا أقلّ على القرص الصُّلب أو أيّ وسيلة تخزين مشابهة. هذه البرامج جيّدة جدًّا، لكن هناك بعض الغموض الذي يلفّ طريقة عملها: فهي تعمل (غالبًا) على حذف كلّ الإسهاب من الملفّ، تاركة وراءها جوهر الملفّ فقط. ويصبح برنامج الضغط هذا مثاليًّا وذا قيمة تجارية إذا كان بإمكانه ضغط الملفّ بنسبة 60%، وما يتبقّى بعد ذلك لا يمكن ضغطه. فإذا قمت بتشغيل برنامج الضغط مرّة أخرى، فلن يمكن ضغط الملفّ أكثر من ذلك (جرّب ذلك بنفسك)، لا يمكن أن يكون أصغر من ذلك إلا إذا أردت أن تفقد بعض المعنى من الرسالة أو بعض المعلومات من الملفّ النصّي. فإذا حاول شخص أن يبيع لك برنامجًا يمكنه ضغط هذا الجوهر غير القابل للانضغاط ليكون حجمه أصغر، فعليك الاتصال بمكتب المباحث الفيدرالية FBI للإبلاغ عن قضية احتيال.

ليس علماء الكمبيوتر فقط المعنيّين بالإسهاب. فمفتاح التحدِّي الرئيس لعملية التشفير هو إزالة أو إخفاء هذا الإسهاب من الرسالة مع الإبقاء على المعلومات الأساسية في قلبها. لا يهم كيف يحاول مصمّمو الشفرة أو علماء الكمبيوتر إخفاء أو تقليص الرسالة، ليتبقّى الجزء الذي لايمكن ضغطه والذي يتوجّب نقله من المرسل إلى المستقبل، سواء أرسلت تلك الرسالة بموجات الراديو أو في أقراص الشمع أو باستعمال الأضواء من برج كنيسة Old North Church. إن هذا الإدراك قد يؤدّي إلى تثوير مجال الفيزياء، فالإسهاب والمعلومات قد عملا في البداية على تثوير مجال التشفير كما غيّرا مسار تاريخ العالم.

يفكّر مصمّمو الشفرة في مهنتهم وفقًا لمصطلحَي المعلومات والإسهاب. فهدف مصمّم الشفرة، قبل كلّ شيء، هو إنتاج تيار من الرموز يكون له معنى لدى المستقبل المقصود. بمعنى ما، فإنّ مصمّم الشفرة يقوم بابتكار لغة صناعية. وعلى عكس اللغات الإنسانية المعتادة والمقصود منها تبادل المعلومات بحرّية، فإنّ الرسائل التي يصمّمها مصمّمو الشفرة يكون مقصودًا منها أن تبدو بلا معنى بالنسبة للمتنصّتين. المعلومات الموجودة في الرسالة الأصلية تظلّ موجودة في النسخة المشفّرة، إلا أنّها تكون مخفية عن الذين لا يعرفون فكّ شفرة الرسالة. فالشفرة الجيّدة تحجب المعلومات عن هؤلاء غير المخوّل لهم معرفتها، والشفرة الرديئة تسمح بتسرّب المعلومات منها. وعندما تفشل الشفرة، يكون هذا غالبًا بسبب عدم البراعة في الإسهاب.

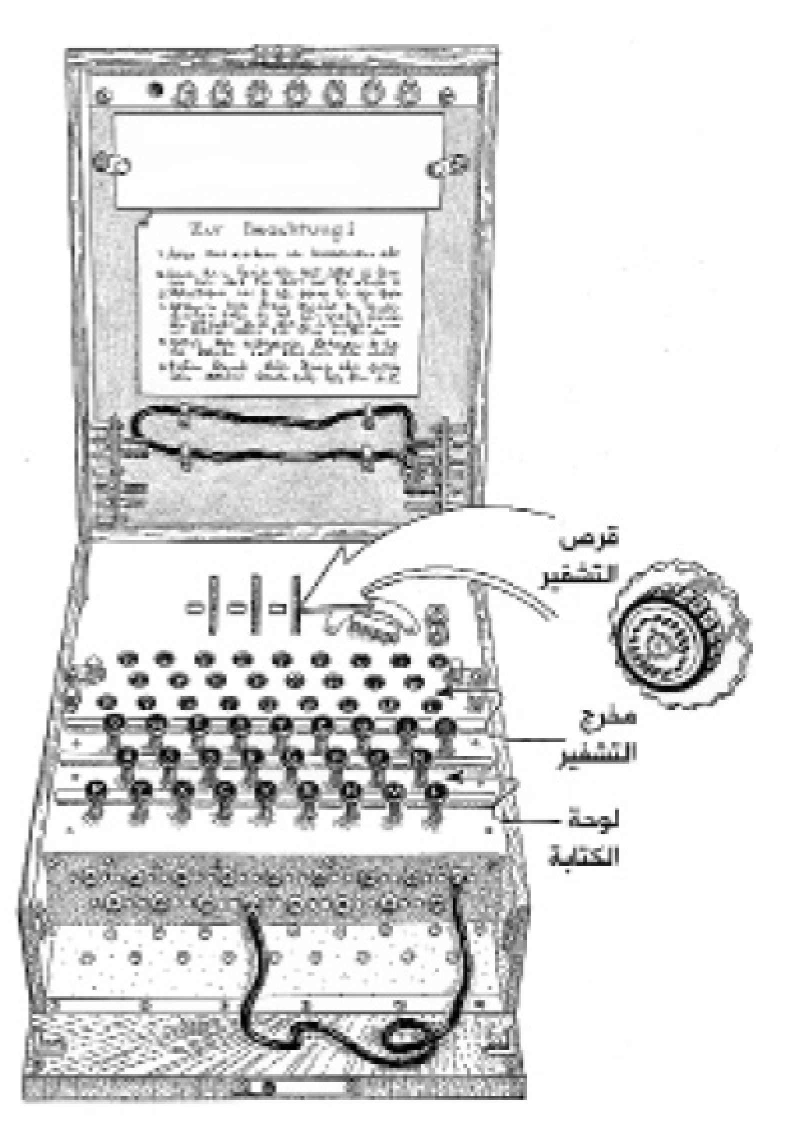
ستعرف ذلك بالفعل إذا كنت من هواة حلّ الألغاز. ففي الصفحات الفكاهية للعديد من الجرائد، ستجد ألغازًا صغيرة تسمّى الكريبتوجرام cryptogram. وهو عبارة عن اقتباس أو قول مشهور يجرى تشفيره بطريقة بسيطة: بحيث يتمّ إحلال كلّ حرف بحرف آخر من حروف الأبجدية، لينتج تسلسلًا بلا معنى. قد ترى على سبيل المثال شيئًا مثل FUDK DK V NTPVFDOTPM KDIAPT GSHDJX KGUTIT DF KUSYPH JSF FVWT IYGU FDIT FS ZNTVW DF، وبقليل من الممارسة، ستتمكّن من حلّ شفرة هذا اللغز بسرعة لاستخلاص المعلومات التي يتضمّنها.

هناك عدّة طرق لفكّ شفرة الكريبتوجرام، وكلّها تستغل القواعد غير المكتوبة للغة الإنجليزية، فحتّى لو كانت المعلومات مشوّهة، ستسمح لك هذه القواعد باكتشاف ماهية الرسالة. وأحد تلك القواعد أنّه إذا كان لديك حرف مفرد في الجملة، فإنه إمّا أن يكون A أو I، فلا يوجد حرف مفرد في الإنجليزية يمكنه تكوين كلمة صحيحة. لذا ففي الكريبتوجرام السابق، فان الرمز V قد يمثل الحرف A أو I. هناك قاعدة أخرى وهي أن الحرف E يعد من أكثر الحروف تكرارًا في اللغة الإنجليزية، لذا ففي الجملة السابقة فان الرمز الأكثر تكرارًا T من المحتمل أن يمثل الحرف E. بعض الحروف الأخرى مثل S وتراكيب الحروف مثل TH، تعتبر شائعة نسبيًّا لذا فمن شبه المؤكّد ظهورها في رسالة ما، أمّا الحروف الأخرى مثل X أو KL فهي نادرة وقد لا تكون موجودة في الكريبتوجرام النموذجي. فإذا تمعّنت قليلًا في الكريبتوجرام السابق، فسيكون بإمكانك فكّ شفرة رسالته. حيث إن قواعد اللغة الإنجليزية تسمح باستنباط المعلومات من الرسالة حتّى بالرغم من كونها مخفية. وبكلمات أخرى، فإن تلك القواعد تعطي الإسهاب للرسالة كما تتيح لك تفكيك الشفرة(*****).

يعتبر الإسهاب ـ تراكم القواعد والأساليب اللغوية ـ بمثابة العدوّ للشفرة الآمنة، فهو يساعد على تسريب المعلومات منها، ولهذا يبذل مصمّمو الشفرة قصارى جهدهم لإخفاء الإسهاب في الرسالة.

وتلك هي الطريقة الوحيدة التي تجعل مصمّمي الشفرة يأملون في ان الشفرة الجديدة ربّما تكون آمنة. إن حجر الزاوية لعلم التشفير هو فهم العلاقة بين الإسهاب والمعلومات والأمان، لكن قبل ولادة نظرية المعلومات، لم يكن لدى أحد في الحقيقة هذا الفهم العميق لما وراء تلك العلاقة، ولم يكن مفهومًا طبيعة المعلومات أو الإسهاب. ولم تكن هناك طريقة منهجية لتعريفهما أو قياسهما والتعامل معهما. وكنتيجة لذلك كانت أكثر التراكيب الشفرية تعقيدًا في بدايات القرن العشرين يغلب عليها عدم الأمان حتّى تلك التي كان يُعتقد أنّها عصيّة على التفكيك.

في فبراير من عام 1918 تقدّم المخترع الألماني أرثر شيربيوس Arthur Scherbius لنيل براءة اختراع ماكينة شفرة لا يمكن حلّ شفرتها، والتي سرعان ما جابت سمعتها السيّئة العالم باسم: انيجما Enigma. لقد كانت انيجما طريقة عبقرية لتشفير الرسائل. فكانت على درجة عالية من التعقيد بحيث اعتقد معظم مصمّمو الشفرات وعلماء الرياضيات في ذلك الوقت أنّه لا أمل حتّى في محاولة كسر شفرتها.



آلة انيجما

ظهرت آلة شيربيوس بشكل ما وكأنها آلة كاتبة لها ستّة صفوف من المفاتيح، لكنّ النقر على أحد هذه المفاتيح لا يترك أي أثر على الورق بل يومض مصباحًا في الماكينة. فإذا نقرت مفتاح الحرف A مثلًا ربّما يومض الضوء الذي يشير للحرف F، فالمفتاح A مشفّر على أنه الحرف F. لكنّ إذا نقرت المفتاح A مرّة ثانية ربّما يومض المصباح الذي يشير للحرف S أو O أو P، ففي كلّ مرّة تنقر فيها المفتاح A ستكون النتيجة مختلفة. وهذا لأن آلة شيربيوس كانت مصمّمة من الداخل بحيث يكون هناك عدد من الأقراص الميكانيكية الدوّارة. وفي كلّ مرة تنقر فيها مفتاحًا، سيتحتّم دروان تلك الأقراص وانتقالها خطوة للأمام، وعندما تغيّر تلك الأقراص من وضعها ستتغيّر عملية التشفير أيضًا. لأنه في كلّ مرة تنقر فيها مفتاحًا سيصبح هذا المفتاح مشفّرًا بطريقة مختلفة، وبدا الأمر كأن آلة إنيجما تغير شفرتها مع كلّ نقرة مفتاح.

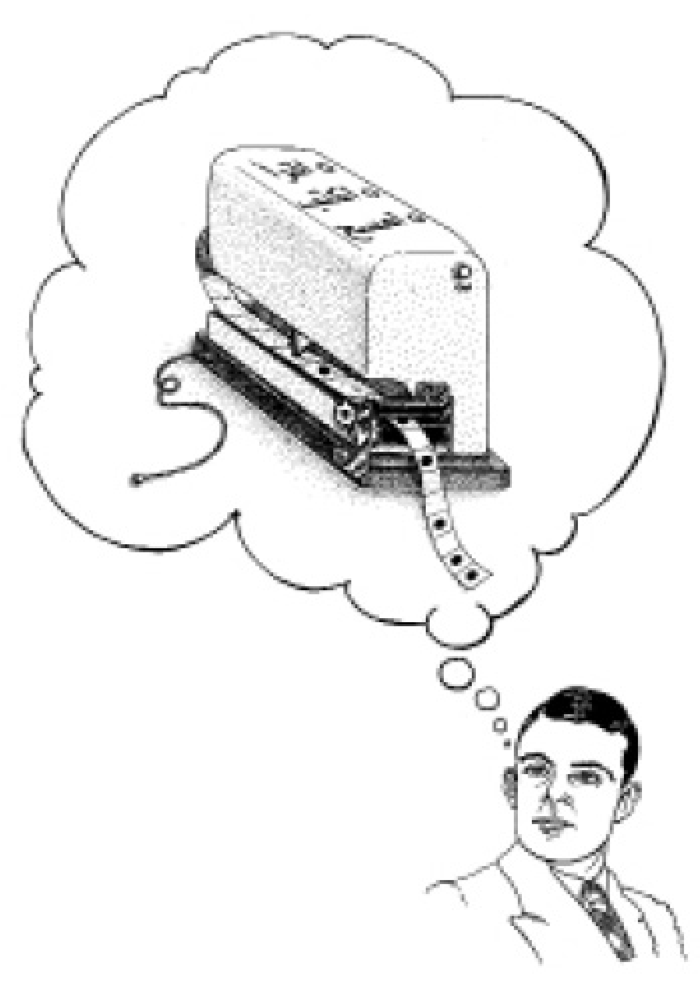
كانت معظم نماذج انيجما تستخدم ثلاثة أقراص دوّارة ـ بعض النماذج بها أربعة ـ وكلّ قرص يجب أن ينتقل إلى الأمام ستًّا وعشرين مرّة قبل أن يعود إلى نقطة ضبطه الأولية. كان يمكن توصيل هذه الأقراص بالأسلاك بعدّة طرق، كما كان يمكن وضع أيّ منها في أي من الثلاثة (أو الأربعة) أماكن المخصّصة لدروانها. كانت هناك أيضًا أسلاكٌ ومقابس يمكن تغيير أماكن تثبيتها كما كان يمكن أيضًا تعديل بعض المواصفات الأخرى. لقد أدرك الجميع، أنّ آلة انيجما القياسية ذات الثلاثة أقراص دوّارة باستطاعتها أن تعطي ترتيبات للحروف بأكثر من 300 مليون مليار جووجول googol احتمال. فإذا كان عليك حلّ شفرة رسالة انيجما، فسيكون عليك أن تستنبط أيّ وضع من الأوضاع الـ 3×10 114 التي كانت عليه آلة التشفير عندما بدأت في كتابة رسالتها المشفّرة.

وتعدّ هذه الإمكانية المهولة خارج أيّ نقاش، فما من طريقة تستطيع بها أن تجرب يدوّيًا كلّ احتمال من تلك الاحتمالات الـ 3×10 114. فإذا كانت كلّ ذرة في الكون عبارة عن آلة انيجما، وقامت كلّ ذرة من تلك الذرات بإجراء مليون مليار احتمال من هذه الاحتمالات في كلّ ثانية منذ نشأة الكون حتّى الآن، فلن يتجاوز ما تم إنجازه حاليًا سوى 1% من كلّ هذه الاحتمالات الممكنة. وهكذا فلا عجب من أن تحظى انيجما بسمعة أن شفرتها عصيّة على التفكيك. لكن من حسن حظّ الحضارة الغربية أن هذا لم يحدث.

كان أحد أسرار الحرب المحفوظة بشكل جيّد، عبارة عن إطار يضمّ صورة لمجموعة من مفكّكي الشفرة في أحد المباني على الطراز الفيكتوري: بمنطقة بليتشلي بارك في بوكينجهامشاير Bletchley Park in Buckinghamshire في إنجلترا. وهم من سيسمّيهم ونستون تشرشل Winston Churchill لاحقًا «بالأوزات التي تضع بيضًا من الذهب لكنّها لا تقوقئ أبدًا». وكان ألان تيورنج Alan Turing أشهر تلك الأوزات.

ولد تيورنج في عام 1912 بلندن، وكاد أن يصبح أحد مؤسّسي علم الكمبيوتر ـ وهو المجال الذي يتعامل بالتجريد مع الأشياء التي تعالج المعلومات. وبالنسبة لعلماء الرياضيات وعلماء الكمبيوتر، كان أكثر الإسهامات التي قام بها تيورنج أهمية، هو تصميمه لكمبيوتر أوّليّ عُرف فيما بعد باسم آلة تيورنج. وهو عبارة عن آلة ذاتية الحركة تستطيع قراءة التعليمات الموجّهة لها على شريط ورقي. كان هذا الشريط مقسّمًا إلى مربّعات إمّا فارغة أو بها علامات مكتوبة. لقد كانت آلة تيورنج بسيطة للغاية، فهي تستطيع أن تؤدِّي عددًا محدودًا فقط من العمليات الأولية. كقراءة ماهو

مكتوب على جزء معيّن من الشريط، أو تقديم هذا الشريط وإرجاعه، أو الكتابة ومحو العلامات من عليه.



آلة تيورنج

وفي ثلاثينيات القرن العشرين، برهن تيورنج وزملاؤه في جامعة برينستون بكنيسة ألونزو Princeton University, Alonzo Church، أن هذا الروبوت robot البسيط ماهو إلا كمبيوتر شامل، فهو يستطيع إجراء أيّ عملية حسابية يتخيّل أن يقوم بها الكمبيوتر، بما في ذلك أحدث الكمبيوترات الفائقة supercomputers. ممّا يعني أنّك تستطيع نظريًّا إجراء أكثر العمليات الحسابية أو المهام الحاسوبية تعقيدًا لو كان بمقدورك لفّ الشريط وقراءة وكتابة أو مسح العلامات من عليه. كانت فكرة الكمبيوتر الشامل حاسمة في تطوّر علم الكمبيوتر ونظرية المعرفة.

لم يحظَ تيورنج بشهرته الكبيرة لهذا فقط، فقد جاءت شهرته من قدرته على تفكيك شفرة انيجما. حيث قام مع زملائه في بليتشلي بارك، باستكمال جهود علماء الرياضيات البولنديين، فقاموا باستخلاص المعلومات التي كانت تخفيها رسائل انيجما المشفّرة عن طريق استغلال الإسهاب الموجود فيها. فقد تسبب عددٌ من عيوب شفرة انيجما بوجود إسهاب في تلك الرسائل ممّا ساعد على إضعاف شفرتها. كان أحد تلك العيوب بسبب التصميم (فمثلًا، آلة انيجما لا يمكنها ترك الحرف الواحد دون تغيير: فالحرف المشفّر E قد يكون أي حرف من حروف الأبجدية إلا الحرف E نفسه، وهذه المعلومة البسيطة قد تساعد في معرفة ما كانت عليه الرسالة). كما كان أحد هذه العيوب بسبب طريقة الألمان في الاتصال (فقد كان بمقدور مفكّكي الشفرة في بليتشلي بارك استغلال ما تتنبّأ به تقارير الطقس المشفّرة التي كان يرسلها الجيش الألماني، لتفكيك الشفرة التي تخفي تلك التقارير، ومثل تنبؤ اللغة كان هذا شكلًا من الإسهاب). لقد سمحت هذه العيوب مع بعضها لتيورنج وزملائه بأن يفكّكوا رسائل انيجما المشفّرة، بواسطة سلسلة بدائية من الالآت الحاسبة التي صمّمت خصّيصًا لهذا الغرض وعرفت باسم «قنابل الحلوى» (******) bombes. وقد استطاع تيورنج ومساعدوه في بليتشلي بارك أن يفكّكوا شفرة رسائل انيجما فعليًّا وفي غضون ساعات، بفرق شاسع عن مليارات مليارات السنين التي يتطلّبها التحليل العقلي البسيط للوصول إلى حلّ طريقة تأمين شفرات انيجما. لقد تسرّبت المعلومات من الرسائل المشفّرة وكان بمقدور مفكّكي الشفرة في بليتشلي بارك أن يقرأوها حتّى لو كانت مخفيّة بآلة انيجما.

وكما أن كسر الشفرة JN-25 قد غيّر من مسار الحرب في المحيط الهادى، فان كسر شفرة انيجما قد غيّر مجريات الحرب في المحيط الأطلنطي. ففي المراحل المبكّرة من الحرب العالمية الثانية، كاد أسطول اليوبوتات الألمانية أن يخنق جزيرة بريطانيا العظمي الحصينة. وفيما بعد، كتب رئيس الوزراء البريطاني ونستون تشرشل «في الحقيقة، فإن الشيء الوحيد الذي أرعبني بصورة مطلقة أثناء الحرب كان تهديد اليوبوتات». ويعد النصف الثاني من عام 1940 أسعد أيام البحرية النازية، حيث كانت اليوبوتات ترسل شهريًّا حوالي نصف مليون طن من حمولات سفن الشحن الإنجليزية إلى قاع المحيط الأطلنطي، ممّا جعل بريطانيا العظمي تجثو على ركبتيها تقريبًا، لكن مفكّكي شفرة انيجما قد غيّروا هذا المسار، فمن اللحظة التي تمّ فيها تفكيك شفرة اتصال اليوبوتات عن طريق نسخة انيجما التي كانت لدى البحرية البريطانية، قام مفكّكو الشفرة في بليتشلي بارك بمساعدة القوّات البريطانية المضادّة للغوّاصات باصطياد وإغراق تلك اليوبوتات التي تسبّبت بضرر بالغ لأمّتهم كما أسهموا في الفوز بالحرب(*******).

كان تفكيك شفرة انيجما آخر جهد عظيم مبذول لتفكيك الشفرات، قبل أن يتعلّم العلماء تحديد المعلومات ومعالجتها وتحليلها. فقد كان مفكّكو الشفرة في بليتشلي بارك ودون أن يدروا، يستغلّون طبيعة المعلومات الملموسة التي يتعذّر اختزالها. فكانوا يستخدمون الإسهاب وعمليات الحوسبة

والمعالجة الحسابية لكشف غموض الشفرات واستخلاص المعلومات التي تكمن وراءها. بمعنى ما، كان مفكّكو شفرة انيجما النجم الساطع الذي بشّر بميلاد كلٍّ من علم الكمبيوتر ونظرية المعلومات – وقد شكّلت أفكار تيورنج جزءًا هامًّا فيهما.

ومن المحزن أنّ تيورنج نفسه لم يلعب دورًا مهمًّا في ميلاد نظرية المعلومات. ففي عام 1952 تمّت محاكمة تيورنج «مثلي الجنسية» بتهمة ارتكاب «بذاءة فاضحة» لعبثه مع ولد يبلغ من العمر تسعة عشر عامًا. ولكي يتجنّب السجن، قام بالتوقيع بالموافقه على الخضوع للعلاج باستخدام الحقن الهرمونية التي كان من المفترض أن تقضي على ميوله الجنسية تلك. لكنّها لم تفعل، ولم يُشفَ من وصمة «فساد أخلاقه» وبعد سنتين انتحر تيورنج المعذّب عقب تناوله للسيانيد على ما يبدو.

لقد جاء ذكر مأساة تيورنج في كلّ مرّة عندما كان على علماء الفيزياء وعلماء الكمبيوتر أن يتعلّموا طريقة التعامل مع جوهر المعلومات، في الوقت الذي كان يرى فيه العلماء صعوبة في تحديد مفهوم للمعلومات يحمل مفتاحًا لفهم طبيعة العالم المادّي. ولم يكن هذا الانتحار هو الوحيد الذي ألقى بظلاله على علم المعلومات، فقد كانت المأساة في الحقيقة موجودة عند جذور نظرية المعلومات، حول الجهود الفيزيائية المبكّرة التي مهّدت الأرض لمجيء هذه الثورة.

الفصل الثانى

العفاريت

ها أنت عفريت مُعادٍ، هذا ما أدركه جيّدًا، والخوف من أعمالك يحوّل الخير دائمًا إلى شر.

ـ فاوست، جون وولفجانج فون جوته

بعد ظهيرة الخامس من سبتمبر عام 1905، قام لودفيج بولتزمان Ludwig Boltzmann بلفّ طرف حبل صغير حول إطار النافذة وعمل أنشوطة متدلية من الطرف الآخر، وبينما كانت زوجته وابنته يجدفان بسعادة في خليج منتجع قرية ديونو Duino فيما كان يُعرف أيامها بالنّمسا ـ المجر Austria-Hungary، شنق بولتزمان نفسه، لتجد ابنته الجثّة بعد ذلك.

وقد نحتت على قبر بولتزمان تلك العبارة بالغة البساطة: S = K log W. وهي العبارة التي ستقوم بتثوير مجالين فيزيائيّين كان يُعتقد بعدم وجود علاقة بينهما. كان الأول، الديناميكا الحرارية، التي تتعامل مع القوانين التي تحكم الحرارة والطاقة والشغل ـ وهو مصدر أقوى قانون في الفيزياء. كان الثاني، نظرية المعلومات، ولم يتسنَّ لبولتزمان العيش حتّى يراها تبعث إلى الحياة.

للوهلة الأولى، لا يبدو أن هناك شيئًا مشتركًا بين الديناميكا الحرارية ونظرية المعلومات، فالأولى تتعامل مع أكثر الأفكار الملموسة التي كان يقدرها مهندسو القرن التاسع عشر، الحرارة والطاقة والشغل. وهي الأشياء التي جعلت المصانع تدور والآلات البخارية تزمجر ومسابك المعادن تتوهّج. من الناحية الأخرى، بدا أنّ المعلومات تجريدية وسريعة التلاشي، فلا يمكننا إضافة المعلومات إلى المسبك لصهر الحديد، كما لا يمكننا تزويد النول بها لغزل الصوف. ومع ذلك فإن نظرية المعلومات تنبثق من الديناميكا الحرارية. وكلاهما من فروع المعرفة الحافلة بالعفاريت.

في أواخر القرن الثامن عشر كانت أوربا قارة مليئة بالعفاريت، ولم تكن فرنسا استثناء. فقد قامت الثورة الفرنسية بعزل الملك لويس السادس عشر Louis XVI في عام 1789 وقطعت رأسه في النهاية، وفي فوران استبداد السنوات التي تلت ذلك، أرسل عددٌ كبيرٌ من الناس إلى القبر مع ملكهم، منهم العالم الفرنسي العظيم أنطوان لورانت لافوازييه Antoine Luarent Lavoisier. كان لافوازييه مسئولًا بشكل جزئي عن ولادة أحد فروع العلم، والمعروف حاليًا بالكيمياء. فقد أظهرت تجاربه أنّ التفاعلات الكيميائية لا تفني المادّة ولا تستحدثها ـ فعندما تحرق شيئًا على سبيل المثال، فإن كتلة الموادّ الناتجة تساوى دائمًا كتلة الموادّ المتفاعلة ـ وهو المبدأ المعروف حاليًا بمبدأ بقاء المادّة. وقد أثبت بالبرهان أن عملية الاحتراق كانت تتم بسبب وجود مادّة في الهواء هي الأكسجين. وفي كتابه «بحث أولي في الكيمياء» الذي نشر في سنة اندلاع الثورة الفرنسية قام بوضع أسس الكيمياء، هذا المجال العلمي الجديد، وفي جزء منه قام بوضع قائمة بالعناصر والموادّ الأساسية التي لا يمكن تقسيمها. كان الأكسجين ضمن هذه العناصر بالإضافة إلى الهيدروجين والنيتروجين والزئبق وعدد من العناصر الأخرى التي اتخذ وجودها طبيعة ثانية بالنسبة لعلماء الكيمياء. ولا وجود حاليًا لدى العلماء الحاليّين لأحد «عناصر» لافوازييه الذي كان شائعًا في أيامه: السُعر الحراري.

كان لافوزييه ومعظم علماء عصره مقتنعون بأن السُعر الحراري، عبارة عن سائل غير مرئي ينساب من جسم إلى آخر، وهو مسئول عن درجة سخونة الأشياء وبرودتها. وقد افترض لافوزييه أن «قطرات السُعر الحراري» تتدفّق من قضيب الحديد الساخن، بينما لا تحتوي قطعة الرخام إلا قليلًا منها، فإذا وضعت الحديد على الرخام، فإن السائل «السُعر الحراري»، سينساب نظريًّا من الحديد إلى الرخام، لكي يبرد الأول ويسخن الثاني.

كانت هذه الفكرة خاطئة، مع أنّ لافوازييه لم يعش شخصيًّا ليرى سقوط نظرية «السُعر الحراري». وقد كان أرستقراطيًّا، لذا فقد نظر إليه حكام عصر الإرهاب بريبة، وبحثوا عن طريقة للتخلّص منه. فتم توقيفه في عام 1794، وإدانته بتهمة الغش، لقيامه بتخفيف التبغ للجمهور. وفي 8 مايو قطعت رقبته على المقصلة وانقطع مسار حياته الواعدة.

تزوّجت ماري آن أرملة لافوازييه الجميلة مرّة أخرى ـ وسيبرهن الزوج الجديد في النهاية أن سُعر لافوازييه الحراري كان محض خيال. ولد بنجامين طومسون Benjamin Thompson في ماساتشوستس Massachusetts عام 1753، لكنّه فرّ من البلاد، بعد أن عمل جاسوسًا لحساب البريطانيين، فكان يكتب التقارير عن أحوال الثوريين من سكّان المستعمرات، وراح طومسون يجوب أنحاء أوربّا، وتزوّج ماري آن لافوزييه ثم طلّقها بعد ذلك، وانتهى به المطاف للعمل كمهندس حربي في بافاريا Bavaria.

كانت أوربا المضطربة في حاجة كبيرة للتسلّح، وكان من ضمن مهام طومسون الإشراف على بناء المدافع. كان العمال يصنعون ماسورة المدفع باستخدام مثقاب يَدَوي لثقب أسطوانة من الحديد، وقد لاحظ طومسون أن قاطع المثقاب عندما يكون غير حادٍّ بما يكفي فإنه لا يقضم الحديد جيّدًا بل يستمرّ في طحنه دون قطع ـ مع تولّد حرارة. وكلّما استمرّ دوران المثقاب زادت درجة حرارة أسطوانة المدفع، ويظلّ ساخنًا طالما استمرّ دوران المثقاب.

وفقًا لنظرية السُعر الحراري فان هذا كان بلا معنى. فإذا كان الذي يسبب الحرارة هو تدفّق أحد السوائل من قاطع المثقاب إلى أسطوانة المدفع، فلا بدّ عند نقطة معينة أن ينفذ إمداد هذا السائل، لكنّ الحرارة كانت تستمر طالما بقي المثقاب دائرًا: كما لو أن المثقاب به كميّة لا تنضب من السُعرات الحرارية. فكيف يحتوي قاطع المثقاب الصغير على كمية لا نهائية من هذا السائل؟

وفي الواقع، فقد بيّنت مدافع طومسون أنّ الحرارة لم تكن بسبب سائل غير مرئي. وبدلًا من ذلك، كان قاطع المثقاب يبذل شغلًا work باحتكاكه بمعدن المدفع، ويتحوّل هذا الشغل إلى حرارة (أنت تفعل الشيء نفسه عندما تفرك يديك. وبطريقة أقلّ وضوحًا، عندما يرتعش جسدك في يوم شتاء بارد، حيث يتحوّل الشغل المبذول بالحركة إلى دفء). كان لا بدّ أن تمضي عدّة سنوات قبل أن يدرك العلماء تمامًا ظاهرة أنّ الحرارة والشغل المبذول بالحركة المادية كانا وثيقي الصلة بعضهما ببعض، وهذا الإدراك هو الذي ساعد على بناء فرع علمي جديد عرف باسم الديناميكا الحرارية.

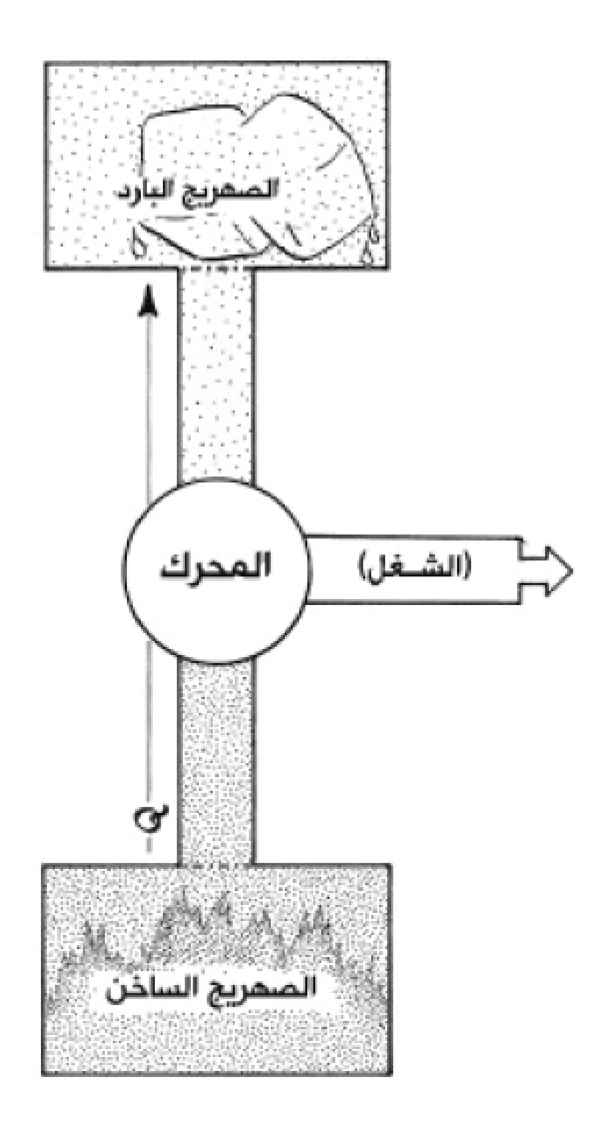
لم تكن كلّ الثورات في أوربا سياسية، فكما كان يجرى الإطاحة بالملوك كان يتمّ التخلّص من الأفكار وأنماط الحياة القديمة. وقد ولد علم الديناميكا الحرارية إبّان الثورة التي كنست بقايا النظام الإقطاعي، إنها الثورة الصناعية. وراح المخترعون ورجال الاعمال في كلّ أنحاء أوربا، يحاولون أتمتة الأشغال كثيفة العمالة وابتكار آلات أقوى وأسرع من الإنسان، والتوقّف عن استخدام الحيوانات. فماكينات حلج القطن وماكينات الحياكة السريعة والقاطرات، كلّ هذه المخترعات لم

تكن بحاجة إلى رواتب ممّا مكّن رجال الصناعة من جني أرباح غير مسبوقة. لكن في الوقت نفسه، احتاجت هذه المخترعات إلى القوّة لكي تعمل.

قبل التصنيع، كانت مصادر القوّة المتمثّلة في القوّة الجسدية للإنسان والحيوان وقوّة سقوط الماء كافية لتشغيل الآلات في تلك الأيام. لكن آلات الثورة الصناعية احتاجت قوّة أكبر بكثير ممّا كانت تحتاجه الآلات في الماضي، وهكذا ولدت المحرّكات(********). وقد اخترع أكثرها شهرة في العام 1769، بواسطة المخترع الأسكتلندي جيمس وات James Watt، كنسخة متطوّرة من محرّك البخار.

مبدئيًّا، يعتبر المحرّك البخاري بسيطًا جدًّا. فأنت تحتاج أولًا للنار، هذه النار تجعل الماء يغلي ليتحوّل إلى بخار يشغل حيّزًا أكبر ممّا كان يشغله الماء - ومن ثم فإنه يتمدّد. وتمدُّد البخار هذا يبذل شغلًا: كأن يحرّك مكبسًا ليقوم بدوره بتحريك عجلة أو برفع صخرة أو بضخ ماء. بعد ذلك إمّا أن يتطاير البخار بعيدًا في الهواء، أو يتمّ نقله إلى غرفة باردة معرّضة للهواء حيث يتكثّف عندها ويتدفّق عائدًا إلى النار ليبدأ الدورة من جديد.

بشكل أكثر تجريدًا، يظلّ المحرّك البخاري بين شيء ساخن (النار) وشيء بارد (الهواء). إنه يسمح بانسياب الحرارة من الصهريج الساخن إلى الصهريج البارد عن طريق حركة البخار. وفي نهاية الدورة، يبرد الجسم الساخن قليلًا (وإلّا فعليك أن تبقي النار مشتعلة ليبقى ساخنًا)، كما يسخن الجسم البارد قليلًا (البخار يعمل على تسخين الهواء المحيط). لكن مع السماح لتلك الحرارة بالانسياب، فإن المحرّك سيستخلص بعض الطاقة للقيام ببذل شغل مفيد(********). فطالما كان هناك تفاوتٌ في درجة الحرارة بين الصهريج الساخن والصهريج البارد، فإنّ محرّكا نموذجيًّا مثل هذا - المحرّك الحراري - سيستمرّ في التسكع بلا انقطاع.



المحرّك الحراري (Q = الحرارة)

وسيوضّح بنجامين طومسون وعالم الفيزياء الإنجليزي جيمس جول James Joule مع بعض العلماء الآخرين، أنّ هناك علاقة بين الشغل والحرارة ـ حيث إن الشغل والحرارة هما طريقتان لانتقال الطاقة. فهناك طاقة مختزنة في قطعة الفحم أو في نقطة البنزين، وبحرقهما يمكن إطلاق تلك الطاقة وتحويلها إلى المحرّك نفسه. عندئذٍ سيستخدم المحرّك بعضًا من تلك الطاقة لبذل شغل مفيد ـ كرفع قالب من الخرسانة عدّة أمتار مثلًا ـ وسينطلق جزءٌ من هذه الطاقة إلى البيئة. وإذا لم نستمر في إضافة الطاقة إلى الصهريج الساخن للحفاظ عليه ساخنًا (أو الاستمرار في إزالة الطاقة من الخزان البارد للحفاظ عليه باردًا ـ وهو ما سيحدث لاحقًا) فإن الصهريجين سيصلان سريعًا إلى درجة الحرارة نفسها وسيتوقّف المحرّك مزمجرًا في نهاية المطاف.

سيرغب المهندسون بالتأكيد في استخدام أكبر قدر ممكن من هذه الطاقة لإنجاز الأعمال المفيدة، كما سيرغبون في فقد أقل قدر ممكن منها إذا تمكّنوا من تقليل الحرارة المنبعثة إلى البيئة. وبكلمات أخرى، إنهم يريدون أن تكون محرّكاتهم أكثر كفاءة بقدر الإمكان. وقد أصبح هناك جهودٌ شاقة في بدايات القرن التاسع عشر لحلّ واحدة من أكبر المشاكل لاكتشاف الطريقة التي يمكن بها جعل المحرّك البخاري أكثر كفاءة. كان سادي كارنوت Sadi Carnot، ابن الثورة الفرنسية الذي ولد في باريس عام 1796 بعد سنتين من مقتل لافوازييه، هو من اكتشف الحدود القصوى لقوّة المحرّك. كان والده، لازار Lazare، جنرالًا وعضوًا في الحكومة الفرنسية ما قبل نابليون. وأصبح كارنوت الصغير، مثل بنجامين طومسون، مهندسًا عسكريًّا. لكنّ اهتماماته تحوّلت سريعًا باتجاه مشكلة محرّكات البخار. فقد كان عقله مؤهّلًا بطريقة أكثر علمية من طومسون: وكان يرغب في اكتشاف القواعد العامة التي تضع حدودًا لتلك المحرّكات التي كان يصنعها المهندسون.

في عشرينيات القرن التاسع عشر، كان العلماء ما زالوا لا يعرفون إلا القليل عن العلاقة المتبادلة بين الحرارة والشغل والطاقة داخل المحرّك، لذا فقد بدأ كارنوت بإجراء الحسابات وإعداد التحليلات الدقيقة لاكتشاف شكل هذه العلاقات التبادلية. فعلى سبيل المثال، حاول في عام 1822 أن يحدّد مقدار الشغل الذي يمكن بذله باستخدام كمّية معيّنة من البخار. لكنّ شهرته الأكبر قد جاءت من اكتشافه مقدار الشغل الذي لا يمكن للمحرّك البخاري بذله.

كانت فكرة كارنوت اللامعة هي الاختبار النظري، لمحرّك ارتدادي كامل، حيث يمكن عكس كلّ خطوة من خطوات دورة المحرّك (التخيلية) تلك، فور لحظة انتهائها دون أي فاقد. فمثلًا، إذا كان من الممكن عكس الضغط السريع والعنيف لأسطوانة مملوءة بالهواء، إذا سمح بحدوث ذلك، فإن الهواء سيتمدّد رجوعًا إلى وضعه الابتدائي من حيث الحجم والضغط ودرجة الحرارة وسيتمّ عكس الانضغاط كليًّا. في النهاية سيتمّ إثبات أن كفاءة محرّك كارنوت الارتدادي تعتمد فقط على درجة حرارة الصهريج الساخن، وأي شيء آخر ليس مهمًّا. ومثلًا فان محرّك كارنوت الذي يستخدم فقط البخار المتصاعد عند 100 درجة مئوية ويقوم بإطلاق هذا البخار إلى الهواء في يوم متجمّد عند درجة الصفر المئوي، ستكون كفاءة هذا المحرّك 27 في المائة. فقط حوالي 27% من الطاقة الكامنة في البخار يمكن أن تتحوّل إلى شغل مفيد والباقي سيتسرّب إلى الهواء.

لا تبدو هذه العملية عالية الكفاءة. فمحرّك كارنوت يفقد ثلاثة أرباع الطاقة عند تشغيله بين الصفر والـ 100 درجة مئوية. لكن في النهاية هذا هو أكفأ محرّك حراري يمكن الحصول عليه، ومن هنا جاءت فكرة الارتدادية.

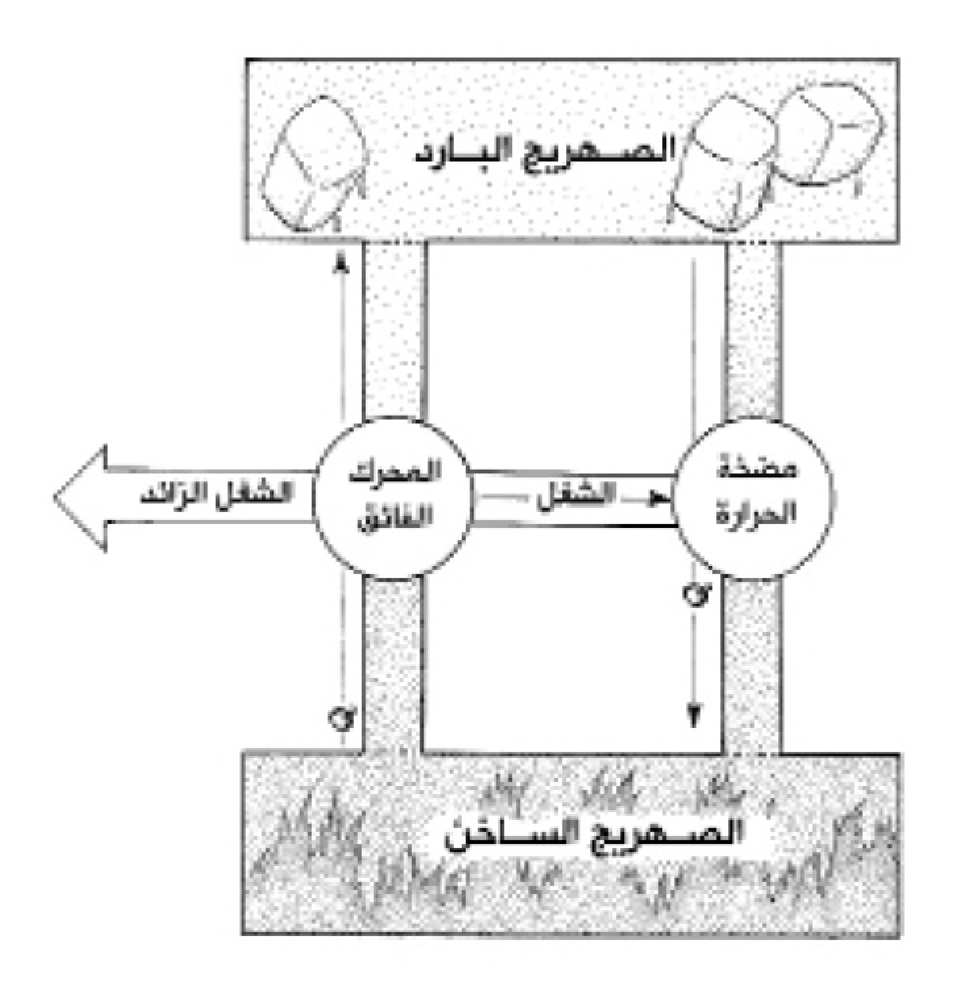
فالمحرّك الحراري يعتلي صهريجًا ساخنًا وآخر باردًا. وخلال عدّة خطوات من إدارته، سيسمح المحرّك للحرارة بالانسياب من الصهريج الساخن إلى الصهريج البارد، وأثناء ذلك سيجرى استخلاص شغل مفيد مثل دوران ذراع الكرنك. في محرّك كارنوت، يمكن عكس كلّ خطوة من خطوات التشغيل، وفي الحقيقة يمكن قلب الدورة بكاملها. فإذا جئت بمحرّك كارنوت ووضعت فيه الشغل، كإدارة الكرنك سيجعل هذا دورة التشغيل تعمل بالعكس. وعندها سيضخّ المحرّك الحرارة من الصهريج البارد إلى الصهريج الساخن. ليصبح الجانب الساخن أكثر سخونة والجانب البارد أكثر برودة. فالمحرّك الحراري، عندما يدار عكسيًّا يكون بمثابة مضخّة حرارية: ضع فيه الشغل وسيعمل على تبريد الصهريج البارد وتسخين الصهريج الساخن.

الثلاجات وأجهزة التكييف عبارة عن مضخّات حرارية هكذا. ففي الثلاجات، يكون الصهريج البارد داخل الثلاجة، وبعد إضافة الشغل بالموتور الكهربائي، تأخذ المضخّة الحرارة من داخل الثلاجة وتطلقها إلى الصهريج الساخن الذي هو هواء غرفة المطبخ. وفي حالة التكييف، فإنّ الصهريج البارد هو الغرفة التي تريد تبريدها، والصهريج الساخن هو الهواء الخارجي ليوم صيف ساخن، ولهذا يجب عليك التأكّد دائمًا من إحكام نظام التكييف بغلق باب الغرفة التي ترغب في تبريدها.

الآن، تخيّل أن محرّك كارنوت الحراري ومضخّة كارنوت الحرارية مرتكزان على الصهريجين أنفسهما، سيسمح المحرّك لكمّية معيّنة من الحرارة «Q» بالانسياب من الصهريج الساخن إلى الصهريج البارد، وفي هذه العملية سيتم بذل كمّية معيّنة من الشغل المفيد. وستستهلك المضخّة هذا الشغل وتضخّ بالتالي الحرارة Q من الصهريج البارد إلى الصهريج الساخن. فإذا تم تشبيك المحرّك والمضخّة معًا، فسيلغي كلٌّ منهما الآخر تمامًا. وبالنظر إلى نظام المحرّك/المضخّة ككلّ، لن يكون هناك أيّ قدر من الحرارة المنسابة من صهريج إلى صهريج ولن يكون هناك فائض شغل مبذول.

في عام 1824، أدرك كارنوت أن شيئًا فريدًا قد يحدث إذا قمت بتغيير طفيف في الصورة. تخيّل أن لديك محرّكا فائق القوّة ويعمل بكفاءة أكثر من محرّك كارنوت تحت ظروف التشغيل نفسها، وبينما يتمّ السماح لكمية الحرارة Q نفسها بالانسياب من الصهريج الساخن إلى الصهريج البارد، سيبذل هذا المحرّك شغلًا أكثر قليلًا من الشغل الذي يبذله محرّك كارنوت. اسحب محرّك كارنوت خارج نظام المحرّك/المضخّة واستبدله بالمحرّك فائق القوّة هذا، ونظرًا لأنه يبذل شغلًا أكبر ممّا يبذله محرّك كارنوت ـ وأكبر ممّا تستهلكه المضخّة الحرارية ـ فسيمكنك تحويل جزء صغير من هذا الشغل بعيدًا عن المحرّك مع الحفاظ على دوران المضخّة الحرارية. ستستهلك المضخّة الحرارية قيمة الشغل نفسها كما في السابق، وتضخّ كمية الحرارة Q من الصهريج البارد إلى الصهريج الساخن. وإجمالًا، لا يمكن لأيّ مقدار من الحرارة أن ينساب من الصهريج البارد إلى الصهريج الساخن. لكن لأن المحرّك فائق القوّة يبذل شغلًا أكثر بعض الشيء ممّا يبذله محرّك كارنوت، فسيبقى بعض الشغل المفيد فائضًا لا حاجة به في إدارة مضخّة كارنوت الحرارية. وهكذا، ستكون قد ابتكرت محرّكا حراريًّا يبذل شغلًا مجانيًّا، إنه لا يسمح بانسياب أي قدر من الحرارة من الصهريج الساخن إلى الصهريج البارد، إلا أنه مازال قادرًا على حمل صخور أو تحريك قاطرة. لقد ابتكرت آلة الحركة الأبدية perpetual motion machine، لأن المحرّك يبذل شغلًا بدون استهلاك أي شيء (لا حاجة للوقود لبقاء الصهريج الساخن ساخنًا) أو دون أن

يغيّر في البيئة (لن يسخن الصهريج البارد ولن يبرد الصهريج الساخن) لكن لا شيء يأتي بالمجان، فهذا هو القانون.



آلة الحركة الأبدية

كانت بداية علم الديناميكا الحرارية عندما قام كارنوت بصياغة فرضيته عن كفاءة محرّكات البخار. ففي عشرينيّات القرن التاسع عشر، كان العلماء يعرفون القليل جدًّا عن الحرارة والشغل والطاقة ودرجة الحرارة، وقد بدءوا في تطوير فهمهم للعلاقة المترابطة بين تلك الأفكار. حيث كانوا يجهلون في هذا الوقت أغلب الحقائق الأساسية التي يعتبرها علماء الفيزياء اليوم مفروغًا منها. ففي عصر كارنوت على سبيل المثال، لم يكن أحد يعرف القوانين الأكثر أساسية في كوننا «الطاقة لاتفنى ولا تستحدث من العدم» و«حفظ الطاقة» و«ثبات كمّية الطاقة في الكون».

لم يأتِ أول مفتاح لحلّ تلك الألغاز من المحرّكات البخارية، لكنّه جاء من المحرّكات الكهربائية. ففي عام 1821، اخترع العالم البريطاني مايكل فاراداي Michael Faraday الموتور الكهربائي، وكتجسيد حديث لهذا الموتور، يمرّر التيار الكهربائي خلال سلك ملفوف ومحاط بالمغناطيس. سيبذل المجال المغناطيسي قوّة على السلك الذي يحمل التيار الكهربائي ويجعله يلفّ، وسيمكنك استخدام هذا اللفّ في تحريك كرنك أو في تأدية أي عمل مفيد آخر.

كان جيمس بريسكوت جول James Prescott Joule، ابن صانع بيرة من مانشستر، يجري تجاربه على المواتير الكهربائية عندما لاحظ أن التيار الكهربائي المارّ خلال الموتور يؤدّي إلى تسخين الموتور نفسه، والموتور الذي يؤدّي عملًا مفيدًا يولد حرارة أقلّ من هذا الذي يتمّ كبحه ومنعه من الدوران، فبذلُ مزيد من الشغل يولّد القليل من حرارة، وبذلُ القليل من الشغل يولّد حرارة أكثر. وقد وجد جول مثلما وجد بنجامين طومسون، أنّ هناك ارتباطًا بين الشغل الفيزيائي ـ كرفع الصخور أو إدارة قاطع المثقاب ـ وبين توليد الحرارة. لكن جول كان تجريبيًّا دقيقًا على عكس طومسون، فقد عمل بدقّة على قياس كمّية الحرارة والشغل الناتجين في ظروف مختلفة.

لقد أجرى جول العديد من التجارب على مختلف النظم، ليس فقط على المواتير الكهربائية بل أيضًا على أنظمة فيزيائية أخرى مثل السواقي الدوّارة، وقد اكتشف كمّ الشغل المتحوّل إلى حرارة وإلى كهرباء وبالعكس. فقام على سبيل المثال بإسقاط ثقل واستخدم حركة الثقل الفيزيائية في تشغيل مولد لتوليد تيار كهربائي في سلك، مبينًا العلاقة بين الشغل الفيزيائي والطاقة الكهربائية، وقام في أكثر تجاربه شهرة باستخدام بدال عجلة لتدفئة خزان مملوء بالماء، موضحًا بشكل نهائي وحاسم أن الشغل يمكن تحويله إلى حرارة. ولأن، الشغل والحرارة والطاقة الكهربائية، يمكن تحويل أحدهما إلى الآخر، فان كلّ أشكال الطاقة في الواقع تقاس بالوحدات نفسها.

وكما أن الثانية هي الوحدة الأساسية لقياس الزمن، والمتر هو الوحدة الأساسية لقياس المسافة، فان الجول هو الوحدة الأساسية لقياس الطاقة. حيث يمكن للجول الواحد رفع كيلو جرام واحد من الصخور لمسافة 0,1 من المتر، أو تسخين جرام واحد من الماء حوالي ربع درجة مئوية، أو إضاءة مصباح بمقدار مائة وات مدّة 0,01 من الثانية.

أوضح جيمس جول بإجرائه تلك التجارب الأساسية ان الشغل والحرارة عبارة عن وسائل لنقل الطاقة من جسم إلى آخر. فإذا رفعت وزن كيلو جرام واحد لمسافة واحد من عشرة من المتر فإن هذا الوزن سيكتسب واحد جول زيادة عن لحظة البداية، وإذا قمت بتسخين جرام من الماء بمقدار ربع درجة مئوية فان الماء سيكتسب طاقه إضافية قدرها واحد جول زيادة عن لحظة ما قبل التسخين. كما أوضح أيضًا، أنه سيمكنك لو كنت ماهرًا بما يكفي، تحويل الطاقة من شكل لآخر، فنظريًّا بإسقاط وزن كيلو جرام واحد لمسافة واحد من عشرة من المتر يمكن تسخين جرام واحد

من الماء ربع درجة مئوية. (عمليًّا، لا يمكن أبدًا تحويل كلّ الكمية كما سيتضّح ذلك جليًّا فيما بعد). لكن جول أدرك في كلّ هذه التجارب، أنك لن تستطيع أبدًا الحصول على مزيد من الطاقة خارج نظام معيّن بأكثر ممّا وضعته فيه. فسقوط وزن كيلو جرام لمسافة واحد من عشرة من المتر لن يسخن على الإطلاق جرام واحد من الماء بأكثر من ربع درجة مئوية. فالطاقة لا تأتي من العدم. كان جول في تجاربه يحوّل الطاقة من شكل إلى آخر. لكنّه لم يكن أبدًا قادرًا على خلقها.

لقد اكتشف جول ـ وعدد من العلماء المعاصرين له ـ أنّه (لا يمكن خلق الطاقة) وهو ما بات يعرف الآن بالقانون الأول للديناميكا الحرارية(********)، وفي الحقيقة لا يمكن فناؤها أيضًا. قد يتغيّر شكلّها وقد تتحوّل من شغل إلى حرارة، أو قد تتشتت أو تخرج سريعًا من الغرفة التي تجرى التجربة فيها. لكنّ الطاقة وببساطة لن تنبثق أبدًا إلى الوجود ولن تتبدّد إلى لا شيء.

هذا القانون صارم إلى حدّ بعيد. إنه يقول لك إنّ كمية الطاقة في الكون هي مقدار ثابت، وإن مجمل الطاقة التي سنستطيع استخدامها في أي وقت من الأوقات موجودة بالفعل، ومختزنة في مكان ما بشكل آخر. عندما نستخدم الطاقة ـ لتسخين شيء أو لبذل شغل ـ فنحن ببساطة نقوم بتحويل الطاقة الموجودة مسبقًا (الطاقة الكيميائية المخزنة في الفحم)(********) إلى شكل آخر أكثر فائدة لنا. والمحرّك البخاري على سبيل المثال لا يخلق الطاقة، إنه يستخلص الطاقة من الوقود. إنها واحدة من أهم القواعد الأساسية في الفيزياء: الطاقة لاتفنى ولا تخلق من العدم. لكن كان هناك قانونٌ أكثر قوّة على وشك الاكتشاف.

في ستينيّات القرن التاسع عشر، لاحظ عالم الفيزياء رودولف كلاوزيس Rudolf Clausius، نموذجًا لطيفًا لما تفعله تحوّلات الطاقة في بيئتها. فالمحرّك الحراري يعتمد لكي يعمل على فرق درجة الحرارة بين الصهريج الساخن والبارد، إنّه يسمح بانسياب الحرارة من الجانب الساخن إلى الجانب البارد ويستخلص الشغل أثناء هذه العملية. عندما يدور المحرّك، يبرد الجانب الساخن ويسخن الجانب البارد، وتتقارب درجة حرارة الصهريجين أكثر ممّا كانتا عليه عند بداية التشغيل. لقد بدأ كلا الجانبين مختلفًا جدًّا، وبدوران المحرّك صارا أقرب إلى حالة التوازن مع بعضهما البعض. ممّا يعني أنّ توازن الكون ككلّ يزيد عند دوران أيّ محرّك.

هل يمكنك جعل كلا الصهريجين يبعدان عن حالة التوازن بدلًا من أن يكونا أقرب؟ نعم بالتأكيد. فكلّ ما ستحتاجه هو مضخّة حرارية ترتكز على كلا الجانبين. أضف طاقة على شكل شغل، لتسخين الجانب الساخن أكثر ولكي يصبح الجانب البارد أكثر برودة، وسيكون الجانبان بعيدين عن حالة التوازن. لكن كلاوزيس أدرك أن هناك عقبة، فكيف ستجعل الشغل يدير مضخّة الحرارة؟ ربّما عن طريق محرّك آخر ـ لكنّ هذا المحرّك سيزيد بدوره من توازن الكون كلّما دار، مُلغيًا (في الحقيقة (أكثر) من إلغاء) نقص التوازن الذي سبّبته المضخّة الحرارية. إنّ توازن الكون سيتزايد بالرغم من قيامك بقصارى الجهد.

ماذا لو لم تستخدم محرّكا؟ ماذا لو أدرت الكرنك باليد؟ حسنًا، في الواقع ستعمل عضلاتك كمحرّك أيضًا، إنّها تستخدم الطاقة الكيميائية المختزنة في جزيئات جسمك وتقوم بتفكيكها، وتطلق الطاقة إلى البيئة على شكل شغل، وهذا يزيد «توازنية» الكون بقوّة المحرّك الحراري نفسها.

في الحقيقة، لا توجد طريقة للالتفاف على توازن الكون الذي يتزايد دومًا. فعندما يستخدم أي شخص محرّكا أو عندما تعمل الديناميكا الحرارية، فإن هذه العملية تعمل آليًّا على جعل الكون

أقرب إلى حالة التوازن. ولن تستطيع إبطال زيادة التوازن بمضخّة حرارية أو أيّ أداة أخرى، لأنّ الشغل المطلوب لتشغيل هذه الأداة سيأتي حتمًا من محرّك أو عضلة أو أي مصدر آخر سيلغي جهد المضخّة الحرارية(********).

وهذا هو القانون الثاني للديناميكا الحرارية (من المستحيل إنقاص توازن الكون). في الحقيقة، في كلّ مرّة تبذل فها شغلًا، ستقود الكون ليكون أقرب إلى التوازن. وبينما يقول القانون الأول (لا يمكن أن تكسب ـ لا يمكن أن تخلق الطاقة من العدم) فإنّ القانون الثاني يقول (إنك لا تستطيع خرقه). ففي كلّ وقت تقوم فيه بشغل مفيد، سيزيد توازن الكون بلا رجعة. القانون الثاني يفسّر أيضًا لماذا لا يمكن أن يوجد مثل هذا المحرّك فائق القدرة super engine الذي يعمل بطريقة أفضل من محرّك كارنوت. لأن هذا المحرّك فائق القدرة المثبّت إلى مضخّة كارنوت الحرارية لو قام ببذل شغل مفيد دون تغيير بيئته ـ في الحقيقة يمكن عزل نظام المحرّك/المضخّة في صندوق ـ فسوف يكون قادرًا على بذل شغل مفيد إلى الأبد ولن تتغيّر توازنية الكون أبدًا، مع أنّ ماكينتك تستطيع بذل شغل مفيد. لكن القانون الثاني من الديناميكا الحرارية يقول إن المحرّك أو أيّ جهاز أخر لا بدّ أن يقتات على عدم توازن الكون، فأنت لا تستطيع أن تخلق شغلًا من العدم، فشكرًا لقانون الديناميكا الحرارية الأول. ولهذا السبب لا وجود للمحرّك فائق القوّة، لأن ذلك سيؤدّي إلى أداة تعمل للأبد دون إنقاص توازن الكون. وهو ما يؤدّي إلى آلة الحركة الأبدية.

لقد حاول المخترعون ومروّجو الأفكار لعدّة قرون تصميم تلك الآلة أبدية الحركة، وحتّى الآن هناك الكثير من الناس سيحاول أن يبيع لك إحداها. (ولأنّ «آلة الحركة الأبدية» هي طريقة أكيدة لترويع المستثمرين، فإن المصطلح الذي يجرى استخدامه في هذا الإطار هو أداة ما بعد التوحّد above unity device). بعض هذه التصميمات قائم على استخدام المجالات المغناطيسية، والآخر مبنيّ على بعض التقنيات الكمّية quantum المختلفة. وهناك طوفان من تلك التطبيقات ينهال على مكتب براءة الاختراعات الأمريكي بخصوص آلة الحركة الأبدية، حيث يضع المكتب قواعد خاصة لقبولها. فالمخترعون عليهم تسليم نماذج صالحة للعمل مع استيفاء التطبيقات اللازمة. (مع أنّ بعضها يتسرّب من بعض الثغرات ويتمّ الحصول فعلًا على براءة الاختراع) لكنّ القانون الثاني للديناميكا الحرارية ـ الذي يعدّ حاليًا القانون الفيزيائي الأكثر توافقًا يحظر مطلقًا خلق آلة الحركة الأبدية. فلتوفر نقودك لاستثمارات أفضل كامتلاك جسر بروكلين.

كان القانون الثانى للديناميكا الحرارية انتصارًا كبيرًا للعلماء في أواسط القرن التاسع عشر، فقد شكلّ تغييرًا في أسلوب الفيزياء. فمنذ عصر نيوتين Newton، اكتشف علماء الفيزياء عددًا من القوانين عن الكون زادت من قوّة الإنسان. لقد تعلّموا التنبؤ بحركة الكواكب والأجسام المادّية، وكانوا يدرسون الكيفية التي تتصرّف بها المادّة، وقد زاد كلّ اكتشاف من عدد الأشياء التي يستطيع أن ينجزها العلماء والمهندسون المَهرة. فقد أخبرهم القانون الأول للديناميكا الحرارية وبخاصّة القانون الثاني بالأشياء التي لا يستطيعون عملها. فلا يمكنهم خلق الطاقة من العدم ولا يمكنهم بذل شغل دون اضطراب الكون ولا يمكنهم بناء آلة الحركة الدائمة. تلك كانت أوّل قيود حقيقية وغير قابلة للجدل فرضتها الطبيعة على مساعي الإنسان. وبالرغم من طبيعة القانون الثاني المقيدة، إلا أنه صار حاسمًا بالنسبة لفيزياء العصر الحديث. في الوقع، فإن الفيزيائي آرثر إدينجتون Arthur Eddington قد قال: «إنّ قانون زيادة الانتروبيا ـــالقانون الثاني للديناميكا الحرارية ـ يشغل

مكانة، على ما أعتقد، هي الأسمى بين قوانين الطبيعة». كانت الفيزياء في بداية تلمّس حدود قوّتها الذاتية. وتلك الحدود ستصبح موضوعًا هامًّا في القرن العشرين.

مع ذلك ففي ستينيّات القرن التاسع عشر، تسبّب هذا التغيّر في أسلوب الفيزياء، في حالة مبهمة من عدم الارتياح، حيث تطرّق العلماء إلى اكتشاف قواعد الديناميكا الحرارية والأسس الفيزيائية التي تحكم العلاقات المتبادَلة بين الطاقة والشغل والحرارة والسخونة ودرجة الحرارة وطبيعة الحركة العكسية وغير العكسية. وكان على لودفيج بولتزمان ـ المكتئب ـ أن يقدّم حلا للغموض الكامل لهذا الفرع الجديد من الفيزياء. وبمجموعة جديدة من المعالجات الرياضية، اكتشف بولتزمان تفسيرًا لمعظم القوانين الأساسية المعروفة في الفيزياء. لقد غيّرت أعماله طريقة نظر العلماء إلى المادّة ودرجة الحرارة والطاقة ـ كما وضعت أسس الطريقة التي سيحلّلون بها المعلومات. لكن كان عليه أن يصارع العفاريت أيضًا.

ولد بولتزمان في فيينا عام 1844 وكان والده موظّفا حكوميًّا، وبالرغم من تواضع مكانته الاجتماعية، إلا أنّ الشابّ الصغير كان طالبًا متميّزًا حيث شرع في بداية العشرينيّات في معالجة بعض المعضلات التي تواجه الفيزياء. وفي هذا الوقت كانت النظرية الذرّية تتصدّر المشهد العلمي.

لقد اكتشف علماء القرن السابع عشر بعض الخصائص العامّة للغازات. فإذا كان لديك أنبوب مملوء بالغاز واستخدمت مكبس لتقليل حجم الغاز إلى نصف حجمه الأصلي، فسوف يتضاعف الضغط في الأنبوب، هذا القانون اكتشفه الكيميائي الإنجليزى روبرت بويل Robert Boyle. وإذا قمت بدلًا من ضغط الغاز في الأنبوب بمضاعفة درجة حرارته، فإنّ الغاز سيدفع المكبس لأنّ الضغط سيكون قد تضاعف. وسيتمدّد الغاز إذا تم تسخينه وسينكمش إذا تمّ تبريده: هذا هو جوهر قانون تشارلز. وقد سمّي على اسم الكيميائي الفرنسي جاك تشارلز Jacques Charles.

فالشكر لأجيال من التجريبيّين المَهرة، إذ أدرك العلماء بشكل معقول جدًّا العلاقة التبادلية بين الضغط ودرجة الحرارة والحجم الذي يشغله الغاز في وعاء، لكنّ المعرفة التجريبية لا تعني دومًا فهمًا عميقًا. وفقط في منتصف القرن التاسع عشر بدأ علماء الفيزياء في فهم لماذا تتصرّف الغازات بتلك الطريقة.

وحاليًا يعرف علماء الفيزياء المعاصرون أنّ الغاز، الهيليوم مثلًا، مكوّن من جزيئات دقيقة «ذرّات». هذه الذرّات دائمة الحركة، وتحلّق بسرعات مختلفة هنا وهناك داخل الوعاء. وعندما تصطدم الذرّة بجدّار الوعاء، فإنّها ترتدّ مبتعدة عنه مثل كرة المضرب، هذا التصادم يمنح جدار الوعاء نقرة بالغة الصغر. ويكون للتصادم الواحد أثرٌ ضيئلٌ جدًّا في جدار الوعاء، لكن زليونات zillions الزليونات من هذه الارتدادات مجتمعة ستدقّ كناقوس، إنّها تبذل قوّة دافعة عنيفة في جدران الوعاء، دافعةً إيّاها نحو الخارج وهذا هو مصدر ضغط الغاز.

إذا انضغط الوعاء، سيصبح عدد الذرّات نفسه في فضاء أصغر، ولأنّ الوعاء سيصير مزدحمًا أكثر، فإنّ ذرّات أكثر سوف تضرب الجدار بعنف ككرات المضرب كلّ ثانية. وبتزايد عدد الارتدادات، تتزايد القوّة المجمّعة التي تبذلها تلك الارتدادات، وسيرتفع الضغط، وهو ما يعلّل قانون بويل Boyle’s law. ولأنّ نقص الحجم يزيد من معدّل التصادم والعكس بالعكس، فإنّ الحجم والضغط يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. بالمثل، فإنّ علماء الفيزياء يعرفون حاليًا أنّ درجة حرارة

الغاز هي مقياس لكمّية الطاقة التي تمتلكها الذرّات، وهو ما يرتبط بدوره بمدى سرعة انزلاق الذرّات حول بعضها. فكلّما كان الغاز أكثر سخونة، زادت الطاقة التي يمتلكها وزاد متوسط سرعة حركة الذرّات. (هذه هي طبيعة درجة الحرارة الحقيقية، إنّها مقياس عنفوان وبشكل أوسع «سرعة» حركة الذرّات. فذرّة الهيليوم الساخنة تتحرّك أسرع من ذرّة الهيليوم الباردة والعكس، فالذرّة التي تتحرّك بسرعة أكبر تكون أسخن من تلك التي تتحرّك ببطء من النوع نفسه). وكلّما احتوى الجسم على طاقة أكبر وكانت حركته أسرع ـ سواء كرة مضرب أو ذرّة أو عربة سباق تنطلق على الطريق السريع ـ، زادت الدفعة التي يمنحها للجسم الذي يرتطم به بقوّة. لذا فعندما تزيد درجة حرارة الغاز تتحرّك الذرّات أسرع وترتدّ أقوى عن جدار الوعاء مانحة إيّاه دفعة أقوى ـ ليتزايد ضغط الغاز. وإذا سمح لجدار الوعاء بالحركة فإنّه سيتمدّد ليتعادل مع الضغط. وهذا ما يعلّل قانون تشارلز.

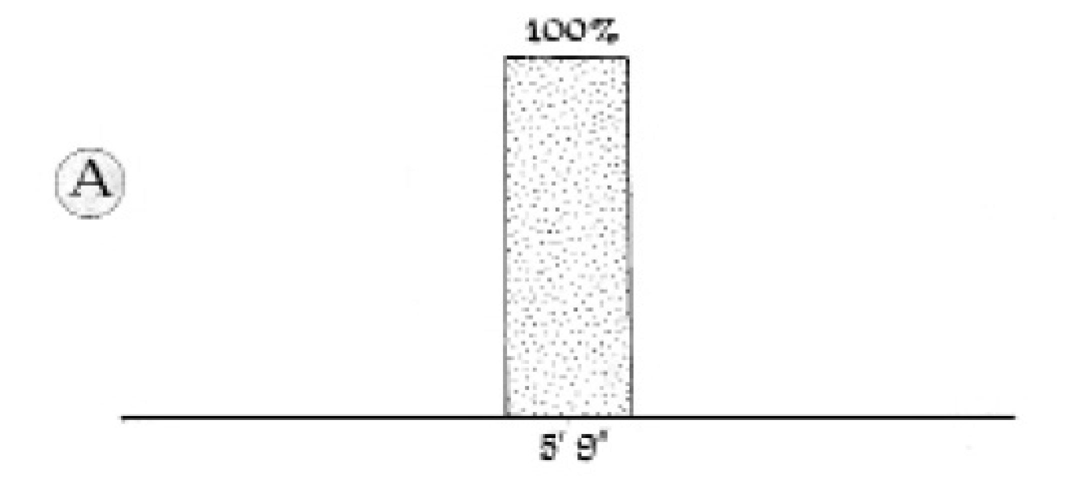
تقوم النظرية الذرّية بربط كلّ من الضغط ودرجة الحرارة والحجم والطاقة ـ وهو كلّ ما اهتمّت به الديناميكا الحرارية والمحرّكات البخارية إبّان الثورة الصناعية ـ معًا في رزمة محكمة ولطيفة. إلا أنّ ما يعتبر واضحًا بالنسبة للعلماء الآن كان من الصعب قبوله بالنسبة لعلماء الفيزياء في القرن الثامن عشر. وبشكل عام لم يمكن لدى أيّ منهم وسائل الكشف عن ذرّة واحدة، وإلى وقت متأخّر حتّى أوائل القرن العشرين رفض بعض العلماء البارزين الاعتقاد بوجود الذرّات من الأساس. مع ذلك ففي أواسط القرن التاسع عشر، بدأ علماء الفيزياء في إدراك أنّ النظرية الذرّية ـ فكرة أنّ المادّة مكوّنة من جزيئات تتحرّك دائمًا ككرات البلياردو ـ قد قامت بمهمّة ممتازة لتفسير خصائص الغازات والأنواع الأخرى من المادّة. ففي عام 1859، قام رادولف كلاوزيس Rudolf Clausius بنشر بحثٍ مهّد الأرضية لما أصبح يعرف بالنظرية الحركية للغازات، لكنّه اصطدم بمشكلة، حيث لم يستطع التوصل إلى الأرقام التي تعمل بشكل صحيح.

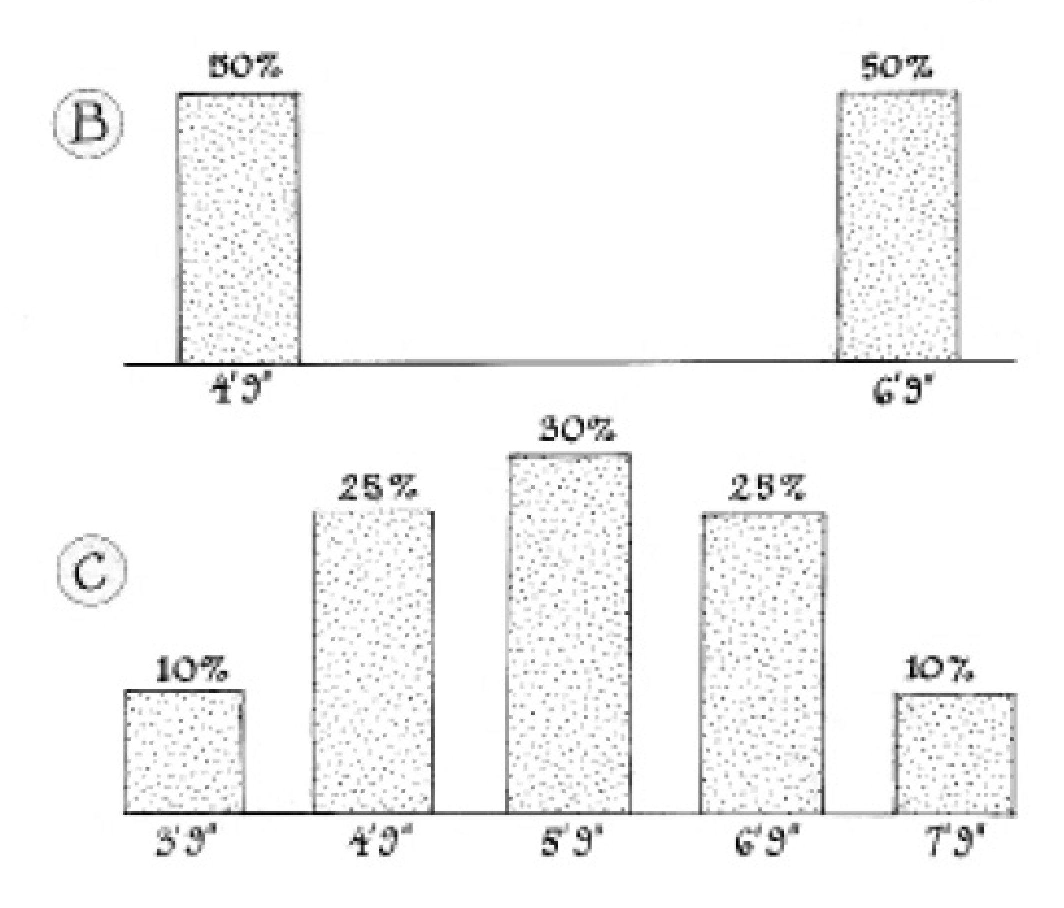
كانت المشكلة مع درجة الحرارة. فقد عرف كلاوزيس أن درجة الحراة هي مقياس لطاقة الذرّات المكوّنة للغاز: فكلّما كان الغاز أكثر سخونة، زادت طاقة الذرّات وزادت سرعتها. في الواقع، إذا عرفت درجة سخونة الغاز ووزن الذرات، فسيمكنك ببساطة استنتاج متوسط سرعتها. وهذا ما فعله كلاوزيس حيث استنتج ما الذي يحدث إذا كان لديك وعاء مملوء بذرّات دقيقة ككرات البلياردو تتحرّك جميعها بهذه السرعة المعيّنة. ومع أنّ هذه النتائج كانت مشجّعة، إلا أن تحليل كلاوزيس لم يكن صحيحًا تمامًا، فحسابات العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة والحجم والطاقة لم تكن بمثل ما تم ملاحظته في الطبيعة.

في عام 1866، قام عالم الفيزياء الأسكتلندي جيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell بحساب هذا الخطأ في براهين كلاوزيس. فبينما افترض كلاوزيس أنّ كلّ ذرّات الغاز تتحرّك بالسرعة نفسها، أدرك ماكسويل أنّ كرات البلياردو عندما تصطدم بالجدَّار أو بعضها ببعض، فإنّها تتبادل الطاقة. حيث ينتهي الأمر بأن يتحرّك بعضها بسرعة أكبر والآخر بسرعة أقلّ من المتوسط. كما أدرك أنّه لو افترض أن سرعات الجزيئات لها توزيع معين، فسيكون بمقدوره تصحيح الخلل في نظرية كلاوزيس.

تعبير التوزيع يظهر غالبًا في فرع من الرياضيات وهو نظرية الاحتمالات، التي تتعامل مع عدم اليقين. إنّه قياس مدى شيوع شيءٍ ما. تخيّل أن يسألك شخص، ما هو متوسط طول الشابّ الأمريكي اليافع؟ السؤال ليس صعبًا وسيمكنك القول إنّ متوسط الطول يدور حول 5 أقدام و9

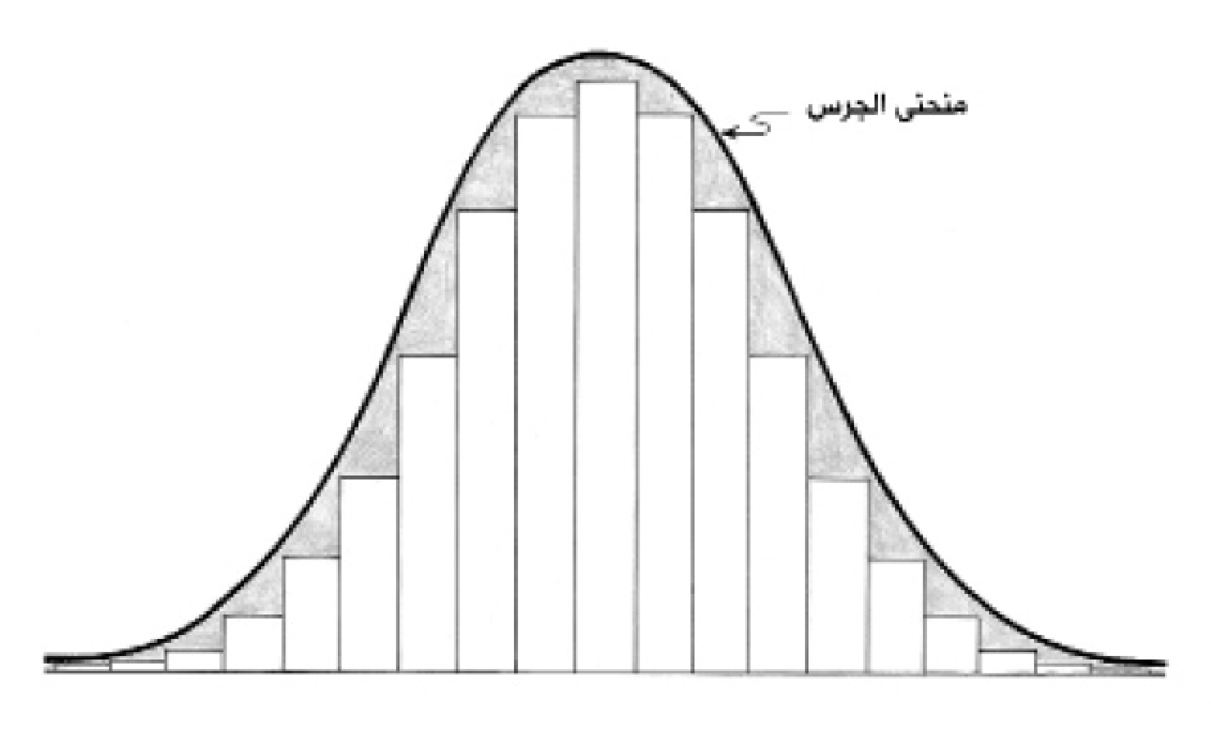
بوصات. لكن ماذا سيحدث لو سألك الشخص أن تصف طول الأمريكيين عمومًا؟ لن تتمكن من إعطاء المتوسط فقط لأنّ هذا لن يعطينا كثيرًا من المعلومات. فالمتوسط 5 أقدام و9 بوصات قد يعني أنّ كلّ شابٍّ طوله بالضبط 5 أقدام و9 بوصات. أو قد يعني أنّ هناك مجموعتين من الناس 50% طولهم 4 أقدام و9 بوصات، و50% طولهم 6 أقدام و9 بوصات. أو ربما 10% طولهم 3 أقدام و9 بوصات، و25% طولهم 4 أقدام و9 بوصات، و30% طولهم 5 أقدام و9 بوصات، و25% طولهم 6 أقدام و9 بوصات، و10% طولهم 7 أقدام و9 بوصات. متوسط الطول في كلّ هذه الحالات هو 5 أقدام و9 بوصات. لكنّ عدد الرجال في أي من هذه المجموعات سيبدو مختلفًا جدًّا جدًّا عن عدد أي مجموعة أخرى لأنّ توزيع أطوالهم سيكون مختلفًا. في التوزيع الذي يكون فيه طول الشاب 5 أقدام و9 بوصات، هناك احتمالية صفر أن تختار عشوائيًّا شابًا من الطريق ويكون طوله أكثر من 6 أقدام. يجب أن يكون طوله 5 أقدام و9 بوصات بالضبط. لكن في المجموعات الخمس الموزّعة سابقًا، هناك فرصة بنسبة 35% إذا ما اخترت شخصًا من الشارع، أن يكون طوله أكثر من 6 أقدام (25% عند 6 أقدام و9 بوصات زائد 10% عند 7 أقدام و9 بوصات).





توزيعات الأطوال المختلفة

بالطبع، لا تمثّل هذه الأمثلة التوزيع الصحيح للأطوال الحقيقية. ففي الحياة الواقعية، يكون توزيع الأطوال أقرب لما يعرف بتوزيع منحنى الجرس bell curve. وفي منحنى الجرس فإنّ الأحداث «القصوى» تكون أكثر ندرة بكثير من تلك «المتوسطة». على سبيل المثال، إذا سرت في الشارع، فستكون أطوال معظم الرجال البالغين بفارق بضعة بوصات عن 5 أقدام و9 بوصات. ونادرًا، لكن ليس غير شائع، أن ترى شخصًا أطول بـخمسة بوصات ليصل طوله إلى 6 أقدام و2 بوصة فمن المحتمل أن ترى كثيرًا منهم كلّ يوم. لكن بإضافة خمسة بوصات أخرى ستدرك أنه نادرًا إلى حدّ ما أن تلتقي بشخص طوله 6 أقدام و7 بوصات، فهذا يعتمد على عدد الأشخاص الذين تقابلهم فربّما ترى شخصًا واحدًا بمثل هذا الطول في الأسبوع. أضف خمسة بوصات أخرى ـ ليصل الطول إلى 7 أقدام ـ وستكون في الستراتوسفير stratosphere. فليس من المحتمل أن تقابل في حياتك كثيرًا من الذين يبلغ طولهم سبعة أقدام إلا إذا كنت معجبًا بكرة السلّة وتحديدًا بالجمعية الوطنية لكرة السلّة NBA، إذ سيكون منطقيًّا أن ترى هناك أطوال السبعة أقدام. هذا توزيع نموذجي لمنحنى الجرس، فاحتمالية إحصاء حدث ما تتناقص سريعًا كلّما كان الحدث بعيدًا عن المتوسط ليصبح أكثر تطرُّفًا. العديد من أشياء الحياة اليومية ـ معدلات الذكاء، الأسعار، مقاسات الأحذية ـ تميل لاتباع توزيع منحنى الجرس.



منحنى الجرس

يمكن تطبيق منحنى ماكسويل على سرعات الذرّات، فما هي احتمالية أن يكون للذرّة سرعة معيّنة إذا ما جرى قياسها عشوائيًّا في وعاء به غاز؟ لن يكون للتوزيع الناتج شكل منحنى الجرس بالضبط. سيكون التوزيع أشبه بمنحنى جرس منسحق ومشوّه، وهو ما يُعرف الآن باسم توزيع ماكسويل/بولتزمان بالرغم من أنّهما يتشاركان في بعض الرياضيات.

ارتبط اسم بولتزمان بهذا التوزيع لأنه أثبت رياضيًّا، أنّ هذا هو التوزيع الذي تتّخذه ذرّات الغاز في حالة التوازن. فقد أوضح ماكسويل أن هذا التوزيع المحدّد للسرعات ينسجم مع المعطيات، لكن بولتزمان أثبت أن مجموعة الذرّات التي تشبه كرات البلياردو في غرفة ـ عند افتراضات أساسية معينة ـ لا بدّ وأن تتبع توزيع ماكسويل/بولتزمان للسرعات. لقد ساعدت براهين بولتزمان على استهلال تقدم رئيس في الفيزياء، لكنّها ساقته كذلك إلى مناطق جعلت أفكاره غير مألوفة بالنسبة لعلماء الفيزياء في عصره.

وكان هذا لسبب وحيد، فبرهنة بولتزمان لم يكن قائمة على التجربة، لكنّها كانت مبنية على العمليات الرياضية البحتة. فبدلا من الاشتغال على وعاء مملوء بالغاز وجعل بياناته تنسجم مع الدالة الرياضية التي بدا أنها تفسر هذه البيانات، وضع بولتزمان عددا قليلا من الافتراضات البسيطة، وأعاد ترتيب المعادلات وأثبت بيقين بنسبة 100% أنّه إذا صحّت هذه الافتراضات، فإن توزيع ماكسويل/بولتزمان هو التوزيع الوحيد المحتمل الذي ستتخذه ذرّات الغاز في حالة التوازن. والأكثر أهمية من ذلك كان في عام 1872، حيث أثبت بولتزمان، رياضيًّا مرّة أخرى، أنّه في حالة وعاء مملوء بغاز جزيئاته ليست في توزيع ماكسويل/بولتزمان (افترض مثلًا، أنك قمت تحديدًا بملء غرفة بذرّات ذات سرعة واحدة)، فستتصادم الذرّات بما قد يجعل بعضها يفقد سرعة وبعضها يكتسبها، الأمر الذي سيؤدّي حتمًا في النهاية إلى وجود الغاز في حالة توزيع ماكسويل/بولتزمان. وهذا هو الموضوع، ابدأ بغاز تتحرّك ذرّاته بأية كيفية ودعه يستقر فترة، سيصل إلى حالة التوازن سريعًا بشكل لا رجعة فيه حيث سرعات الذرّات ستأخذ توزيع ماكسويل/بولتزمان. لم تكن هذه النتيجة العلمية الهامة مبنية على التجربة أو الملاحظة، فقد قامت على الاستدلال المحض ولهذا اعتبرت نظرية رياضية أكثر منها قانونًا فيزيائيًّا(********).

لم تكن الطبيعة الرياضية لطريقة بولتزمان هي المشكلة الأكبر فقط، فقد كان نيوتن رياضيًّا أيضًا. لكن الذي جعل بولتزمان مختلفًا عن نيوتن وعن سابقيه هو أنّ عمله كان يتناول الاحتمالات والإحصاء ـ مع التوزيعات والأحداث العشوائية والعمليات الفيزيائية الأخرى التي لايمكن التنبؤ بها ـ بينما تعاملت الفيزياء منذ بداياتها الأولى مع اليقينيّات. فإذا عرفت موقع كوكب وسرعته فستعرف بدقّة أين سيكون في أي وقت في البليون سنة القادمة. وإذا أسقطت كرة من برج بيزا المائل فستعرف بدقّة في أي جزء من الثانية سترتطم بالأرض. ويبدو أن قوانين الفيزياء الصارمة والثابتة هي الأشياء المؤكّدة الوحيدة في الكون. وبإدخال الاحتمالية والإحصاء إلى مجال الفيزياء، بدا وكأن بولتزمان قد دمّر اليقين الرشيق للقوانين التي تحكم الطبيعة وغير القابلة للجدل، بما فيها القانون الثاني للديناميكا الحرارية.

في الحقيقة، لم يقم بولتزمان بهدم القانون الثاني ـ بل قام بتفسيره موضحًا لماذا كان يجب وجود مثل هذا القانون. ولكن الأمر لم يبدُ كذلك في حينه. فعمل بولتزمان، الذي اعتمد على الاحتمالية والعشوائية أكثر من اعتماده على اليقين، بدا كأنّه يقوّض القواعد المطلقة للقانون الفيزيائي. وبدا

كما لو أن القوانين يمكن أن تطبق فقط لبعض الوقت في كون بولتزمان الاحتمالي والإحصائي. وفي مركز هذه المشكلة كان المفهوم الذي عرف بالانتروبيا entropy.

ربّما تكون قد سمعت عن الانتروبيا، في الحقيقة ورد ذكرها في هذا الفصل بشكلٍ مستتر(********). أغلب الناس يفكّرون في الانتروبيا على أنها مقياس للاضطراب. إذا سألت مدرّسي الفيزياء في مدرسة ثانوية ماذا تعني الانتروبيا، فإن تسعة من كل عشرة منهم سيصفونها بأنها طريقة للتعبير عن مقدار الفوضى في غرفة نومك أو الطريقة الرديئة التي رتّبت بها كتبك على الرفّ. وهذا تعريف فعّال، لكنّه، وبشكل عميق، ليس كافيًا. كما أنه مضلل لحدٍّ ما. فعمومًا لو أنّ غرفة النوم مرتّبة ولو أن الكتب مصفوفة أبجديًّا على رفّ الكتب، فسيقرر الإنسان بشكل تعسّفي ماذا يعني «منظّم» و«غير منظّم»، بينما في الحقيقة، لا تتطلّب الانتروبيا من أيّ شخص أن يحكم ما هو «الترتيب» وما هي «الفوضى». فالانتروبيا هي خاصّية جوهرية لتجمّع من الأشياء، وهي تأتي من قوانين الاحتمالية ومن تناول بولتزمان الإحصائي للفيزياء. لذا، فَلْتَنْسَ لِلحظة النظامَ أو عدم النظام، والترتيب أو الفوضى.

تَخيّل بدلًا من ذلك أن لديّ صندوقًا كبيرًا على الأرض في وسط غرفتي، ثم تخيّل أيضًا أنّ شخصًا ما قد قام برسم شريط أحمر رفيع من الداخل مقسّمًا الصندوق إلى قسمين متساويين. الآن، وكشخص ليس لديه فكرة أفضل لقضاء عطلة نهاية الأسبوع، سيمكنني أن أتسلّى بقذف كرات البِلْي عشوائيًّا في الصندوق. عندما أقذف كرة واحدة سيكون لديها فرصة متساوية لتستقرّ في أيٍّ من الجانبين؛ فكلّ كرة سألقيها لها نسبة 50% من عدد المرّات للوقوع في النصف الأيمن من الصندوق، و50% من عدد المرّات للوقوع في النصف الأيسر من الصندوق. إنّها طريقة بائسة لقتل الوقت ـ لكنّها أفضل من مشاهدة التلفزيون على أي حال ـ وهذا التجهيز البسيط هو كلّ ما سيلزمنا لفهم فكرة الانتروبيا.

فلنبدأ بكرتي بلي مختلفتين تك تك...، ولننظر الآن إلى داخل الصندوق لنرى ماذا حدث، عندما أحدّق في داخل الصندوق، سيكون هناك أحد الاحتمالات الأربعة التالية:

الحالة 1: تستقرّ الكرة الأولى في الجانب الأيسر من الصندوق، وكذلك الكرة الأخرى.

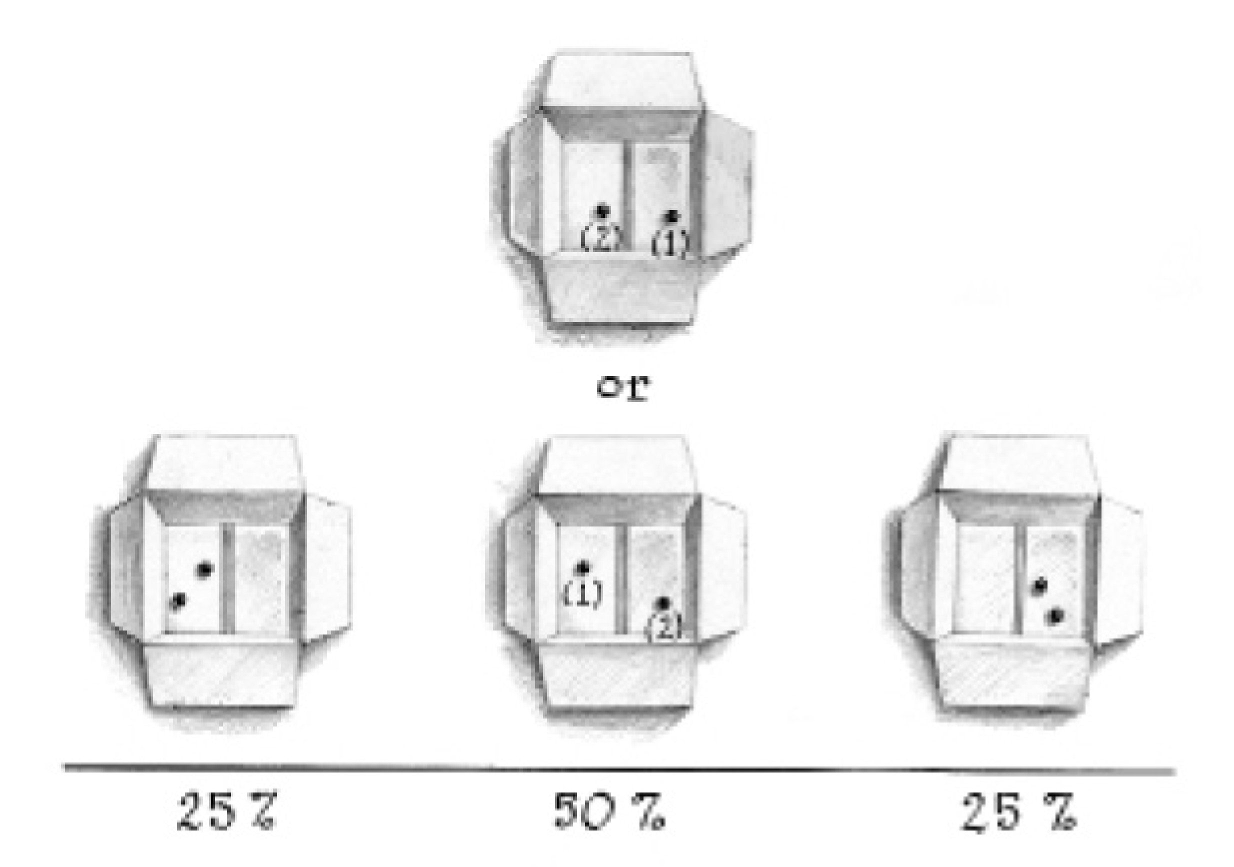
الحالة 2: تستقرّ الكرة الأولى في الجانب الأيسر، بينما تستقرّ الأخرى في الجانب الأيمن.

الحالة 3: تستقرّ الكرة الأولى في الجانب الأيمن، والأخرى في الجانب الأيسر.

الحالة 4: الكرتان تستقرّان في الجانب الأيمن.

كلّ واحد من هذه الاحتمالات مرجّح بالتساوي؛ ممّا يعني أنّ نسبة كلّ حالة هي 25%. مع أنّ الصورة ستتغيّر قليلًا إذا كانت كرتا البلي متشابِهَتَين تمامًا. ففي هذه الحالة، لن تستطيع تحديد كرة البلي التي قذفتها أولًا، وإذا نظرت داخل الصندوق، فسيكون هناك ثلاث احتمالات فقط: كرتان في الجانب الأيمن، كرتان في الجانب الأيسر، أو كرة واحدة في كلّ جانب. وبكلمات أخرى فإن الحالتين السابقتين (2 و3) لن يمكن التمييز بينهما (أو تنحلّان degenerate، بلغة الفيزياء). هذا الانحلال يعني أن الاحتمالات لم تعد مرجّحة بالتساوي. كما في السابق، هناك فرصة بنسبة 25% أن تكون الكرتان في الجانب الأيمن. لكن الاحتمال الثالث ـ واحدة في اليمين وواحدة في اليسار ـ يحدث بنسبة 50% من عدد المرّات، لأنّ هناك طريقتين لحدوث ذلك. وهذا يعني أنّ

وجود كرة في كلّ جانب من الصندوق مرجح مرتين عن وجود كلتيهما في الجانب الأيسر من الصندوق مثلًا.



كُرَتا بلي متشابهتان على جانبي الصندوق

لنُخْرِج الآن كرتي البلي، ونلقيهما أربع مرّات إلى داخل الصندوق تك تك تك تك...، هذه المرّة هناك ستّ عشرة نتيجة محتملة إذا استطعنا أن نحفظ مسار كلّ كرة بلي. لكن إذا كانت الكرات متماثلة، فسيمكننا فقط أن نفرّق بين خمس حالات:

1. أربع كرات في الجانب الأيسر ولا شيء في الجانب الأيمن.

2. ثلاث كرات في الجانب الأيسر وواحدة في الجانب الأيمن.

3. كرتان في الجانب الأيسر وكرتان في الجانب الأيمن.

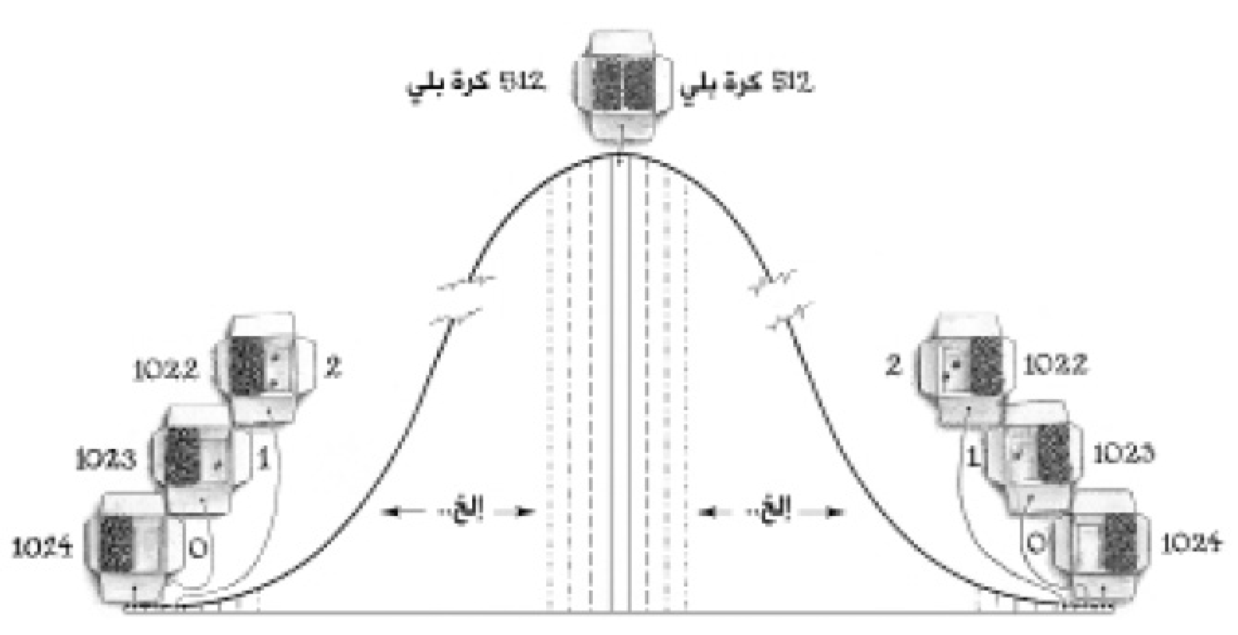
4. كرة واحدة في الجانب الأيسر وثلاث كرات في الجانب الأيمن.

5. لا شيء في الجانب الأيسر وأربع كرات في الجانب الأيمن.

لا تنزعج كثيرًا بخصوص حساب الاحتمالات (يمكنك أن ترى التفاصيل في الجدول التالي)، لكن لاحظ أن النتائج الأكثر توقُّعًا ستة أضعاف النتائج الأقل توقُّعًا. عندما ترسم التوقّعات بيانيًّا ـ عندما تنظر إلى توزيع الاحتمالات ـ ستلاحظ أن الاحتمالات تتبع التوزيع المألوف لدى خبراء الإحصاء: إنّه منحنى الجرس.

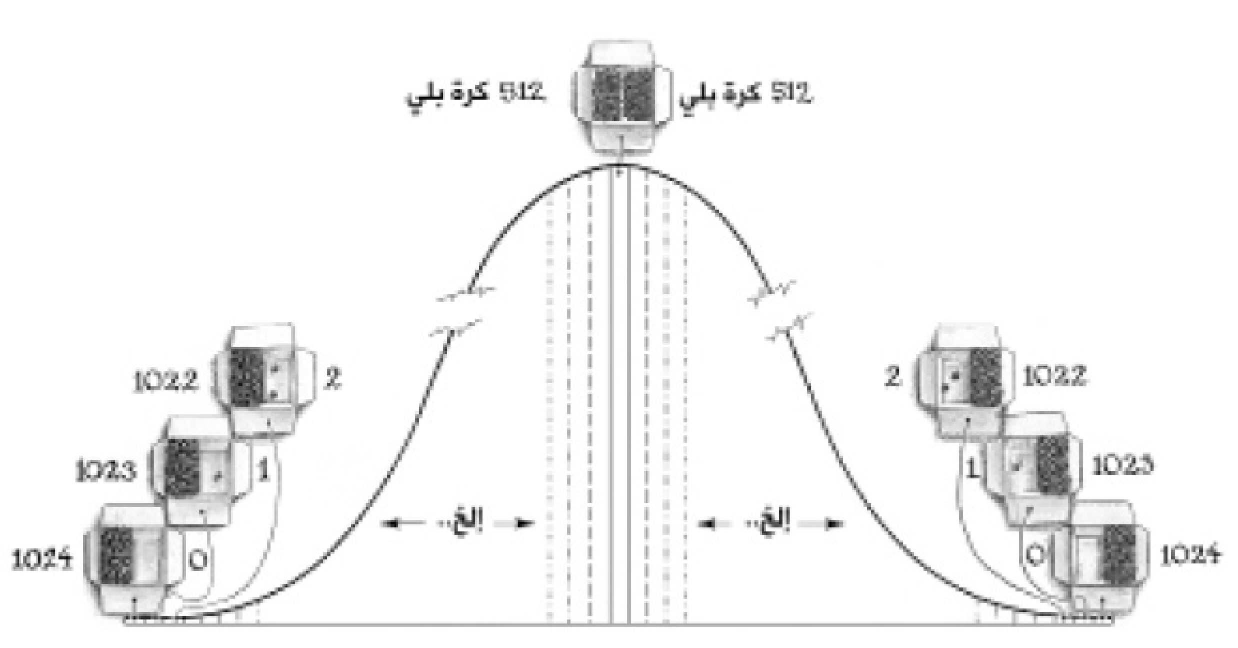
الاحتمالية	كرات البلي في الجانب الأيمن	كرات البلي في الجانب الأيسر
$1/16$	0	4
$4/16 = 1/4$	1	3
$6/16 = 3/8$	2	2
$4/16 = 1/4$	3	1
$1/16$	4	0

احتمالات تواجد أربع كرات بلي متشابهة على جانبي الصندوق



أربع كرات بلي متشابهة على جانبي الصندوق

في الحقيقة، كلّما زادت كرات البلي التي نلقيها في الصندوق، أصبح منحنى الجرس أكثر وضوحًا. لا يهمّ عدد الكرات التي نلقيها في المتوسط، فإنّ نصف عددها سيسقط في النصف الأيسر والنصف الآخر سيسقط في النصف الأيمن من الصندوق. وتلك هي النتيجة الأكثر توقّعًا دائمًا في أية محاولة. فالأحداث الأكثر تطرُّفًا تحدث عندما تكون كلّ الكرات في الجانب الأيمن أو كلّها في الجانب الأيسر، وهذه الاحتمالات المتطرّفة متوقّعة بنسبة أقل كثيرًا جدًّا من معدل أو متوسط الحدث. كلّ الأحداث الأخرى تقع بين الحدّ الأقصى وبين المتوسط. وتصبح أقلّ توقّعًا بشكل مثير كلّما اتجهت من المتوسط إلى الحدّ الأقصى. وكلّما ألقينا كرات أكثر، قلّ توقّع الأحداث المتطرّفة. على سبيل المثال، فلنقذف بعيّنة كبيرة ولطيفة من 1024 كرة بلي إلى الصندوق. في المتوسط سينتهي المطاف بأن تكون 512 كرة في الجانب الأيسر و512 كرة في الجانب الأيمن. الحالة القصوى، مثل وجود 1024 كرة في الجانب الأيسر ولا شيء في الجانب الأيمن، بعيدة الاحتمال جدًّا لدرجة لا يمكن تخيّلها.



1024 كرة بلي متشابهة على جانبي الصندوق

يا له من أمر غير وارد؟ اقذف 1024 كرة بلي عشوائيًّا إلى داخل صندوق، انظر بالداخل. أخرج الكرات واقذفها مرّة أخرى، انظر بالداخل. أخرج الكرات واقذفها للداخل، انظر مرّة أخرى. كرّر وكرّر وكرّر. إذا قمت بذلك مرة كلّ ثانية منذ بداية الكون حتّى الآن، فإنّ فرصة رؤية 1024 كرة في جانب واحد ستكون حوالي مرّة واحدة مقابل 10 290 مرّة. في الواقع، إذا كانت كلّ ذرّة في هذا الكون عبارة عن صندوق من تلك الصناديق التي تحتوي على 1024 كرة بلي، ويتمّ ملؤها عشوائيًّا بكرات البلي كلّ ثانية مرّة تلو الأخرى منذ بداية الكون، فلن يحتوي أي من تلك الصناديق مطلقًا في أية محاولة على 1024 كرة بلي في جانب واحد. (إنّه لا يكفي حتّى، فهناك فقط 10 80 ذرّة في الكون المرئي). ومع أنّه من غير المستحيل نظريًّا الحصول عشوائيًّا على 1024 كرة بلي في جانب واحد، فإن هذا الأمر غير مرجّح لأنّه يتّسم بالاستحاله العملية، إنه لن يحدث في هذا الكون.

لكن وماذا بعد؟ لماذا نضيّع وقتنا في اللّعب بالصناديق وبكرات البلي؟ لأنّ هذا يؤدّي مباشرة إلى تعريف بسيط للانتروبيا. ففي الواقع، الانتروبيا في هذا النظام (الصندوق/ كرات البلي) هي فقط مقياس لاحتمالية أي ترتيب لكرات البلي داخل الصندوق.

إذا أخذت قطعة من الفحم ووزنتها، فالرقم الموجود على مؤشّر الميزان سيقيس كمّية المادّة في هذه القطعة، وبمعرفة الوزن وتركيب المادّة في القطعة، سنتمكّن من تخمين نوعية وعدد الذرّات في الكتلة. إذا أخذت فنجانًا من القهوة ووضعت فيه ترمومترًا، فإنّ قراءة الترمومتر ستشير إلى سرعة حركة الجزيئات داخل القهوة. وإذا عرفت درجة حرارة جزء من المادّة ستعرف، بكلام تقريبى، كيف تتحرك هذه الجزيئات. ومثل الكتلة ودرجة الحرارة، فإنّ الانتروبيا هي قياس خاصّية قطعة من المادّة. إذا عرفت انتروبيا وعاء مملوء بالذرّات، فستعرف بكلام تقريبي الكيفية التي تتوزّع بها هذه الذرّات. وبالرغم من أن الانتروبيا تبدو كما لو كانت تجريدية أكثر من درجة الحرارة والكتلة، إلا أنها حقيقة ملموسة وجوهرية لخاصّية المادّة مثل درجة الحرارة والكتلة.

جزء من السبب الذي يجعل الانتروبيا تتسبّب في دوار الرأس بشدّة أكثر من الكتلة ودرجة الحرارة هو أن قياسها يصعب تقديره عن تقدير وزن منضدة أو قياس سرعة درّاجة. الانتروبيا تُظهر ترتيب المجموع الكلّي للمادّة بمصطلح الاحتمالات، بمصطلح الترتيبات الأكثر احتمالًا لمجموع الذرّات، أو النتائج الأرجح عند إلقاء كرات البلي في الصندوق كما في المثال السابق. كلّما زادت احتمالية ترتيب مادّة (أو كلّما رجّحت محصلة الصندوق وكرات البلى)، زادت انتروبيا ذلك الترتيب (أو المحصّلة).

في حالة الـ 1024 كرة بلي، فإن النتائج الأرجح ـ تقريبًا 512 كرة في كلّ جانب ـ سيكون لها احتمالية أكثر وانتروبيا أكثر، والنتائج الأقلّ حدوثًا ـ معظم الكرات في أحد الجانبين ـ سيكون لها احتمالية أقل وانتروبيا أقل. وبالمصطلحات الرياضية، إذا كانت P هي احتمالية ترتيب معطى ما، مثل 512 كرة في كلّ جانب، فإنّ انتروبيا ذلك الترتيب، والتي يشير لها علماء الفيزياء بالحرف S، هي دالّة K log P، حيث K هي ثابت و«log» هي لوغاريتم(********) ـ كان التعبير على قبر بولتزمان، S = k log W، مشابهًا. إذا قمت بِرَجّ وعاء مملوء بكرات البلي ثم نظرت إلى داخله، سيكون من المؤكّد أن كرات البلي في ترتيب عالى الانتروبيا، وهذه هي الانتروبيا.

الأمر بسيط بما يكفي في الحقيقة حتّى إنّه سيبدو تكرارًا للمعنى. اقذف بكرات البلي في الصندوق، عندما تنظر للداخل، فمن المتوقّع أن تكون الكرات في الترتيب المحتمل. حسنًا، ولهذا نقول إنّ ذلك الترتيب مرجّح. لكن بالنسبة لعلماء الفيزياء هذه ملاحظة عويصة. ففكرة الانتروبيا لها تبعات عميقة وبعيدة المدى، ليست فقط كالصندوق وكرات البلي. الانتروبيا شيء حتمي وهي أحد مشاكل ميكانيكا بولتزمان الإحصائية - فهي متداخلة في كلّ جزء من طبيعة الكون.

الصندوق المملوء بكرات البلي يشبه وعاءً مملوءًا بالغاز، فلنترك تلك الكرات إذن. والآن، إذا وضعنا 1024 ذرّة هيليوم في وعاء فارغ، وقمنا بِرجّ الوعاء لكي يتم توزيعها بشكل عشوائي (في الواقع، الوعاء يرج نفسه بسبب الحركة العشوائية للذرّات)، فكلّما ألقينا نظرة خاطفة سنرى حوالي نصف ذرّات الهيليوم في الجانب الأيسر للإناء والنصف الآخر في الجانب الأيمن. ستكون الانتروبيا عالية، وستكون الذرّات موزّعة بدرجة أو بأخرى بشكل متماثل في الوعاء. في الحقيقة، لا تهم ماهية خصائص الذرّات التي ننظر إليها، فحالة الانتروبيا الأعلى ستتطابق مع التوزيع المتماثل لتلك الخصائص. فمثلًا، كلّما نظرنا إلى الوعاء، فإنّ الذرّات الساخنة والسريعة ستميل للتوزّع خلاله، كذلك ستفعل الذرات الباردة والبطيئة. ولا يرجّح أبدًا أن تتجمّع كلّ الذرّات الساخنة كعنقود على الجانب الأيسر من الوعاء بينما تتكتّل كلّ الذرّات الباردة على الجانب الأيمن، وبدلًا من ذلك، يكاد يكون من المؤكّد أنّ درجة حرارة الغاز ستكون متماثلة خلال الوعاء، تلك هي حالة الانتروبيا الأعلى. إنّه اليقين الافتراضي الذي يسمح لذرّات الهيليوم بأن تكون على هذه الحالة كلّما اختلسنا النظر إليها. وفي الحالات التي يسمح فيها لوعاء الغاز المعزول بأن يكون عشوائيًّا - ويتاح له الوصول إلى حالة التوازن - فإنّ هذا سيضمن في الغالب ألا نرى أبدًا الجانب الأيسر باردًا والجانب الأيمن ساخنًا.

لكن ماذا لو كانت غرفة مفتوحة وبها سخّان؟ جوار النافذة سيكون باردًا بينما سيكون جوار السخّان دافئًا. لأول وهلة سيبدو هذا متعارضًا مع مفهوم الانتروبيا. لكنّ هذا النظام غير معزول، فالسخّان يستمر في ضخّ الهواء الساخن إلى الغرفة، بينما النافذة تسمح له بالتسرّب. فإذا أحكمنا غلق النافذة وأطفأنا السخّان، فستصل حرارة الغرفة إلى التوازن سريعًا، وستكون كلّ بقعة فيها لها درجة الحرارة نفسها. بالمثل، يمكننا إدخال كمّية من ذرّات الهيليوم على جانب واحد من الوعاء ليكون خارج التوازن، فإذا تركنا الوعاء على حاله، فسيتحوّل سريعًا من حالة انتروبيا منخفضة (كثير من الذرّات في جانب وقليل في جانب) إلى حالة انتروبيا عالية (تقريبًا عدد الذرّات متساوٍ في كلا الجانبين). كما لو كان النظام مشدودًا إلى حالة - الانتروبيا العالية - وهذا هو الموضوع بمعنى ما. فكما أنّ الكرة «تريد» أن تنحدر أسفل التل، يريد صندوق مملوء بالغاز أن يزيد انتروبيته للحدّ الأقصى. يمكنك بذل شغل — بإدخال طاقة - لعكس ميل النظام باتجاه الانتروبيا العالية مثل استخدام مكيّف للهواء أو مضخّة حرارية للحفاظ على جانب من الوعاء ساخنًا والجانب الآخر باردًا، لكن إذا تركته على حاله، فإن الوعاء المملوء بألغاز سوف يعود إلى حالة الانتروبيا القصوى، وستتوزّع الذرّات الساخنة والباردة بالتساوي خلاله(********).

«رغبة» الذرّات في زيادة انتروبيتها للحدّ الأقصى تؤدّي إلى تغيير غير عكسي للإناء المملوء بالغاز. فإذا بدأت بكلّ الذرّات في ركن واحد من صندوق، فإنّها ستنتشر بعد هنيهة، لتزيد من انتروبيتها إلى الحدّ الأقصى. ولأنّه من غير المحتمل أن تتحرّك كلّ الذرّات عائدة إلى الركن الذي أتت منه، فإن الغاز، أساسًا، في حالة دائمة من الانتروبيا العالية: بمجرد أن يصل الغاز لحالة

التوازن، سيبقى دائمًا في هذه الحالة عالية الاحتمالية ولن يعود أبدًا إلى الحالة قليلة الاحتمالية التي كان عليها. وبالمثل، إذا أتيت بكمّية من الذرّات الساخنة على الجانب الأيمن من الصندوق وبذرّات باردة على الجانب الأيسر منه، فبعد برهة ستتدافع الذرّات الساخنة والباردة حول بعضها بعضًا باصطدام عشوائيّ وستنتقل إلى الترتيب الأكثر توقّعًا: ستتوزّع الذرّات الساخنة والباردة بالتساوي على الجانب الأيمن والأيسر من الصندوق. وبمجرد أن يكون الصندوق متوازنًا، سيمكنك رؤيته هكذا لقرون قادمة ولن ترى أبدًا الذرّات الباردة والساخنة الموزّعة الآن بالتساوي، تَفصل نفسها فجأة وتستدير إلى ركني الصندوق. إذا تُرِك هذا النظام وشأنه ـ إذا لم تستخدم مضخّة حرارية أو لم تضف أية طاقة إلى النظام ـ فإن الزيادة في الانتروبيا تكون غير عكسية.

ويعدّ مَلمَح «عدم قابلية الانعكاس» هذا أساسيًّا للانتروبيا. فعلى مستوى مجهري، تتصادم الذرّات فيما بينها ككرات البلياردو لترتدّ عن بعضها وترتطم بالجدًّار. وإذا عرض لك أحد الأشخاص فيلمًا قصيرًا عن كرتي بلياردو ترتدّان عن بعضهما، فقد تجد من الصعب تحديد التوقيت الذي تعرف فيه إذا ما كان الفيلم يسير للأمام أو للخلف. ففي كلتا الحالتين سترتطم الكرتان بعضهما ببعض بعنف ثم تطيران بعيدًا، ولن تنتهك الحركة المرئية في الحالتين أيًّا من قوانين الفيزياء. إذ يمكن عكس تصادم الذرّات، فالارتداد المعكوس سيشبه بالضبط الارتداد إلى الأمام، لكن حتّى بالرغم من إمكانية عكس حركة كل ذرّة من تلك الذرّات، فإن الحركة الكلّية للذرّات لا يمكن عكسها. وإذا رأيت فيلمًا تتجمّع فيه كلّ الذرّات بعضها على بعض في أحد أركان الوعاء، فستعرف أن الفيلم يسير إلى الوراء، وستدرك على الفور أن الفيلم الأصلي يبيّن الغاز وهو ينطلق من أحد الأركان منتشرًا إلى بقية أركان الوعاء، ففي الحياة الحقيقية تتصرّف الغازات تتصرف بهذه الطريقة، وليس بالشكل المعكوس. وبسبب الانتروبيا تسمح قوانين الفيزياء بهذا الاتجاه الواحد أمّا الآخر فهو محظور من حيث المبدأ. فالانتروبيا تجعل سلوك الغاز غير عكسي، وبسبب الانتروبيا سيكون للشريط السنيمائي معنى فقط إذا عرض للأمام وليس للوراء فأنت لا تستطيع أن تعكس مسار أحداث الفيلم. ولهذا السبب فإن العلماء يشيرون إلى الانتروبيا على أنّها سهم الزمن the arrow of the time. إن عدم قابلية التفاعلات التي تغير الانتروبيا للانعكاس هو أحد العلامات التي تخبرنا بالاتجاه الذي ينساب فيه الزمن. فالزمن يتّجه للأمام كلّما زادت الانتروبيا، إنّه لا يسير بالعكس أبدًا لأن الانتروبيا لن تتناقص في نظام متروك على حاله.

والانتروبيا هي مفتاح فهم الديناميكا الحرارية أيضًا. وبمعنى ما فإن المحرّكات الحرارية هي ببساطة آلات تعمل على زيادة انتروبيا الكون، فعندما تضَخّ الحرارة من الصهريج الساخن إلى الصهريج البارد، فإنها تزيد من انتروبيا النظام ككلّ. إن فصل الصهريج الساخن عن الصهريج البارد بطبيعته يعدّ ترتيبًا قليل الانتروبيا، تمامًا كصندوق به ذرّات ساخنة في جانب وذرّات باردة في الجانب الآخر، إنّه قليل الانتروبيا كذلك. وبالسماح للحرارة في الصهريج الساخن بالانسياب إلى الصهريج البارد، ستجعل النظام أقرب إلى التوازن، وستزيد من انتروبيا النظام. إن «رغبة» النظام في زيادة الانتروبا الخاصّة به كبيرة جدًّا، لذا فيمكنك وضع أداة بين الصهريجين وجعل هذه الأداة تعمل لحسابك.

وبالعكس، لا يمكنك أن تعكس زيادة الانتروبيا بدون بذل شغل، فلا بدّ من إضافة طاقة إلى النظام لعكس ميله نحو التوازن، وبعمل ذلك ستكون قد زدت انتروبيا الكون الخارجي حتّى بأكثر من تقليلك لانتروبيا الغاز داخل نظامك. هذا هو جوهر القانون الثاني للديناميكا الحرارية: الانتروبيا

هي الأسمى. فالكون يتبختر نحو حالة أعلى من الانتروبيا، ولا يوجد أي شيء يمكن عمله لعكس ذلك. يمكنك أن تفرض أمرًا على ركن صغير من كونك ـ يمكنك تركيب ثلاجة تفصل بين البرودة والسخونة في مطبخك ـ لكنك لا بدّ وأن تستهلك طاقة لفعل ذلك، واستهلاك الطاقة هذا سيزيد من انتروبيا الأرض أكثر ممّا تقلّله الثلاجة من انتروبيا مطبخك. إنّها لفكرة مزعجة: كونك تجعل الأرض أقرب إلى حالة شواش chaos عندما تقوم بتبريد زجاجة بيرة في ثلاجتك.

كانت نظرة بولتزمان الإحصائية والاحتمالية لحركة الذرّات داخل المادّة قوية بشكل لا يصدّق. فبالنظر للغاز على أنّه تجمُّع جزيئات تتحرّك عشوائيًّا، كان بمقدوره شرح الأسس الفيزيائية التي تعمل على تسيير المحرّكات والمسئولة عن انسياب السخونة وعن درجة الحرارة وعن الشغل، والأهم من ذلك كلّه عن الانتروبيا. فمن خلال الاحتمالية والإحصاء البسيط، أدّى عمل بولتزمان لفهم تلك الأنظمة التي «تحاول» بشكلٍ طبيعي أن تزيد الانتروبيا الخاصّة بها، كما أدّى لفهم أن الكون ككلّ ستتزايد انتروبيته باضطراد وبلا رجعة. لكن كان يختفي داخل منطق بولتزمان قنبلة موقوتة.

الطبيعة الاحتمالية لعمل بولتزمان جعلته يبدو كما لو أنّه قد قوّض الحقيقة المطلقة لكلّ قانون يشرحه. فالقانون الثاني للديناميكا الحرارية كان مبنيًّا على حقيقة أن الغازات ستنتهي على الأرجح إلى الترتيبات الأكثر احتمالية. إنّه يبدو مسهبًا... لكن على الأرجح ليس بشكل مطلق. فذات مرّة، وقد يحدث بشكل نادر أن ينتهي المطاف بالغاز إلى ترتيب غير متوقّع حدوثه. وهذا يعني أن انتروبيا النظام، بدون إضافة أي طاقة، يمكن أن تتناقص تدريجيًّا. فالقانون الثاني، بجميع مظاهره، يتم انتهاكه فجأة. والأسوأ من ذلك، أن جيمس كليرك ماكسويل، الرجل الذي تبنّى الطبيعة الإحصائية للغازات وقدم توزيعًا لسرعة الذرّات في الغاز، هذا الرجل قد ابتكر طريقة بارعة بدت كأنّها تفصل الذرّات الساخنة عن الذرّات الباردة دون بذل أي شغل على الإطلاق ـ في انتهاك صارخ للقانون الثاني للديناميكا الحرارية.

أثبت بولتزمان أن القانون الثاني للديناميكا الحرارية لا بدّ وأن يكون صحيحًا دائمًا. في الوقت نفسه، فإن أساليبه قد قوّضت هذا القانون ظاهريًّا وبيّنت أنه ليس من الضروري أن يكون صحيحًا طوال الوقت، وكان هذا هو العفريت الذي طارد بولتزمان على مدار حياته.

في عام 2002، نشر عدد من العلماء الأستراليّين مقالًا في الدورية العلمية Physical Review Letters تسبّب في بعض المشاحنات الطفيفة. ولا عجب، فقد كان عنوانه استفزازيًّا كالتالي «توضيح تجريبي على انتهاك القانون الثاني للديناميكا الحرارية في الأنظمة الصغيرة ولمدى زمني قصير»، حيث قام العلماء ـ من جامعة أستراليا الوطنية في كانبره Canberra وجامعة جريفيث Griffith في بريسبان Brisbane ـ بعمل قياس متقن لانتروبيا حبيبات اللاتكس latex في الماء. ومثل الذرّات داخل صندوق، ستطفو هذه الحبيبات ـ حوالي مائة في كلّ مرة ـ حول بعضها في وعاء الماء. وباستخدام الليزر قام الباحثون بإمساك تلك الكرات الضئيلة ثم قاموا بإفلاتها وقياس الكيفية التي تتطوّر بها انتروبيا هذا النظام.

لقد تصرّفت الحبيبات في معظم الأوقات كما هو متوقّع بالضبط: فالترتيب الذي يفرضه الليزر كان يختفي سريعًا لتزداد انتروبيا النظام. لكن حدث بشكل نادر جدًّا، أن نقصت الانتروبيا قليلًا ولفترة قصيرة قبل أن تتزايد مرّة أخرى. ولوقت قصير وفي نظام صغير تنقص الانتروبيا تلقائيًّا بدلًا من

أن تزيد. ومن ثم اعتُبر هذا «انتهاكًا» للقانون الثاني. وحتّى لو كان ذلك لمدّة قصيرة فقد بدا فشلًا للقانون الثاني. فالانتروبيا تتناقص بدلًا من أن تتزايد.

وكما هو متوقّع، بالغت نشرات الأخبار في إظهار تلك الثغرة الظاهرية في أهم قوانين الفيزياء الأساسية. لكن وبرغم أن تجربة عام 2002 (والتي أجريت بدقّة أكبر في عام 2004) قد بيّنت أن الانتروبيا، قد نقصت، في الواقع، لمدّة قصيرة في نظام صغير. إلا أنّ هذا لم يكن انتهاكًا للقانون الثاني للديناميكا الحرارية. فهو ممّا تسمح به تحديدًا الطبيعة الإحصائية للقانون. وتقريبًا لم يكن الأمر بهذه بالأهمية الكبيرة التي صوّرتها وسائل الإعلام.

عندما صاغ بولتزمان تصوّره عن الغازات في الصناديق، عرف أن مجموعة كبيرة من الجسيمات، حتّى لو كانت تتحرّك بمفردها بطريقة عشوائية، فإنه يمكن التنبؤ بها بشكلّ جماعي. وكلّما زاد عدد الجسيمات في النظام ـ كلّما كان النظام أكبر ـ أصبحت التوقّعات أكثر صرامة(********). لكن بالعكس، كلّما كان النظام أصغر، كان التوقع عرضة للتأرجح العشوائي.

لقد قام بولتزمان بتصوير القانون الثاني للديناميكا الحرارية كقانون احتمالي. وهو يبقى صحيحًا بيقين إحصائي. وبشكل معقول لن ترى في الأنظمة الكبيرة انتهاكًا للقانون عند أي نقطة على مدار عمر الكون. (تذكّر، في حالة الـ 1024 كرة بلي، لن ترى مطلقًا كلّ الـ 1024 كرة بلي على جانب واحد من الصندوق حتّى لو كانت كلّ ذرّة في الكون عبارة عن صندوق مملوء بكرات البلي، وكلّ صندوق يعاد ملؤه بشكل عشوائي مرة تلو الأخرى كلّ ثانية منذ بداية الكون حتّى الآن). لكن في الأنظمة الصغيرة، مثل نظام الأربع كرات بلي، قد ترى أحيانًا كلّ الأربع كرات بلي في جانب واحد من الصندوق. (في الحقيقة قد يحدث هذا مرّة من كلّ ثماني مرات) لهذا إن كان لديك صندوق بداخله أربع كرات بلي في حالة قصوى من الانتروبيا ـ اثنين على كلّ جانب ـ وقمت برجّ الصندوق، فهناك فرصة واحدة من ثماني فرصٍ لأن يقوم الصندوق تلقائيًّا بتقليل الانتروبيا إلى أدنى حدّ ممكن. وبالرغم من أن هذا التقليل في الانتروبيا يبدو كأنه انتهاك للقانون الثانى، فإنه ليس كذلك حقيقة. فهذا النوع من الأشياء ببساطة هو أحد تبعات الطبيعة الإحصائية للقانون.

ويدرك علماء الفيزياء المعاصرون أنه حتّى القوانين الأكثر صرامة ـ حتّى القانون الثانى للديناميكا الحرارية ـ لديها عنصر إحصائي. فمثلًا، على مقاييس مدّة قصيرة من الزمن ولمسافة دقيقة جدًّا، فإنّ الجسيمات تنبثق إلى الوجود وتخرج منه بسبب ما يعرف بتقلبات الفراغ vacuum fluctuations. ولا يوجد عالم فيزياء سيرى هذا على أنه خرق لقانون حفظ الطاقة والمادّة. فهذه التقلّبات هي شيء على علماء الفيزياء المعاصرين التوافق معه. لكن على أيام بولتزمان كانت اللطمة القوية لنظريته بسبب النقص المطلق واحتياج الانتروبيا القوي للزيادة الدائمة. لكنّ تحدى بولتزمان الأكبر جاء من الرجل الذي ألهمه، من ماكسويل.

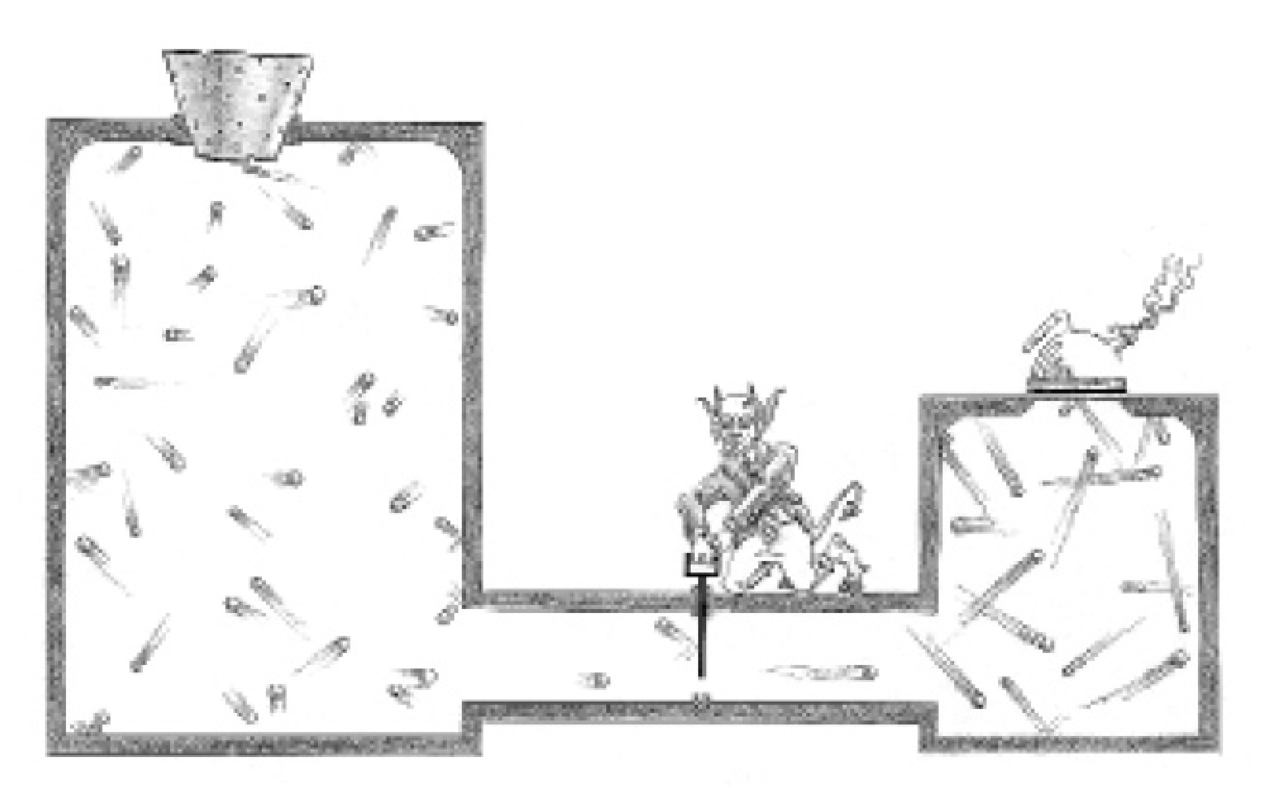
لقد أحبّ بولتزمان عمل ماكسويل، وكانت ورقة ماسكويل عام 1866 عن الغازات قد أدّت لأن يشتغل بولتزمان على سرعة الذرّات. وقد شبه بولتزمان ورقة 1866 بالسيمفونية قائلًا:

«أولًا، يتطوّر تفاوت السرعة بشكل ساحر، ثم تدخل معادلات الوضع من جانب، ومعادلات الحركة من الجانب الآخر. وفوق كلّ هذا تحلّق عالية صيغ الشواش. وفجأة نسمع تلك الكلمات

الأربع (اجعل ن = 5) ليختفي العفريت الشرير V كما تختفي نغمة نشاز من قطعة موسيقية»(********).

لقد استدعى ماكسويل عفريتًا بدلًا من التخلص من آخر، ففي عام 1871 نشر نظرية الحرارة، التي حاول أن يُحْدِث عن طريقها ثغرة في القانون الثاني للديناميكا الحرارية. فجاء بطريقة عبقرية لاستغلال الحركة العشوائية للذرّات بهدف عكس تخريب الانتروبيا ولخلق آلة الحركة الأبدية ـ لقد اعتقد أنه وجد عيبًا في القانون الثاني للديناميكا الحرارية.

اشتمل تخطيط ماكسويل على وجود «كائن» ذكي وصغير جدًّا موجود في صندوق مملوء بالغاز. الصندوق مقسّم إلى نصفين متساويين بواسطة جدار. في هذا الجدار تم وضع صمام منزلق بلا احتكاك. بفتح هذا الصمام وبغلقه ـ لا يتطلّب عمل ذلك بذل شغل بسبب قلّة الاحتكاك ـ فإن هذا الكائن الصغير جدًّا سيكون بإمكانه، إمّا ترك الذرّة تمرّ من أحد جانبي الصندوق إلى الجانب الآخر أو منعها من المرور. أدرك ماكسويل أنّ هذا الكائن سيستطيع بشكل متماثل أن يعكس الانتروبيا دون استهلاك أي طاقة أو بذل أي شغل(********). وقد أطلق عالما الفيزياء وليام طومسون William Thomson ولورد كلفن Lord Kelvin على هذا الكائن اسم، عفريت ماكسويل Maxwell's demon.



عفريت ماكسويل

فعلى سبيل المثال، يبدأ العفريت بصندوق عالى الانتروبيا ـ الذرّات الساخنة والباردة ممتزجة جيّدًا خلال الصندوق ـ وينتهي الأمر بكلّ الذرّات الساخنة على الجانب الأيسر والذرّات الباردة على الجانب الأيمن. وكلّ ما على العفريت أن يفعله هو غلق الصمام أو فتحه في الوقت المناسب. إذا اقتربت ذرّة باردة، موجودة في الجانب الأيسر للصندوق، من الصمام فسيتركها العفريت تمرّ، لكنّه لن يسمح بمرور أية ذرّة ساخنة من اليسار إلى اليمين. وبالعكس، سيفتح الصمام إذا تحرّكت ذرّة ساخنة من اليمين إلى اليسار لكنّه سيغلقه بقوّة إذا كانت ذرّة باردة على وشك الهروب من محبسها في الجانب الأيمن.

بمرور الوقت، وبدون بذل أي شغل على ما يبدو، سيعزل العفريت الصندوق إلى منطقة ساخنة ومنطقة باردة ـ حالة انتروبيا أقلّ جدًّا جدًّا من حالة التوازن الأولية للصندوق. فالعفريت يستغل ببساطة الحركة العشوائية للجسيمات ويدعها تفرز نفسها.

كان هذا أكبر تحدٍ خطير لعمل بولتزمان بأكثر من الاعتراضات فقط على الطبيعة الإحصائية لقوانينه. فقد بدا أن قطعة آلة مصمّمة جيّدًا ربّما تقوم بعكس انتروبيا الصندوق تلقائيًّا. خالقة صهريجًا ساخنًا وصهريجًا باردًا دون استهلاك طاقة. وإذا كان هذا ممكنًا فسيكون بمقدورك تشبيك عفريت ماكسويل إلى محرّك حراري، وسينتج المحرّك شغلًا بينما يحتفظ العفريت بالصهريج الساخن ساخنًا وبالصهريج البارد باردًا. وستحصل على شغل مجانًا ـ آلة الحركة الأبدية.

من المحزن، أن بولتزمان لم يعش ليساهم في تجاوز عفريت ماكسويل، فقد خضع للصراع مع عفريته هو. كان بولتزمان في الغالب شخصًا غير اجتماعي وسريع الغضب، وقد خلقت له أفكاره الجديدة تلك أعداء ألدّاء. وفوق كلّ ذلك، كان عرضة لنوبات اكتئاب وإجهاد شديدة. لقد قام بشنق نفسه دون أن يعرف السرّ الذي سيقود الفيزياء للانتصار على عفريت ماكسويل. ومن المفارقات العجيبة، أن المعادلة التي كانت في قلب هذا الانتصار كانت منقوشة على قبر بولتزمان $S = k \log W$، كانت معادلة انتروبيا وعاء مملوء بالغاز. لكن لم تكن الانتروبيا هي التي هزمت عفريت ماكسويل. فقد كانت المعلومات.

الفصل الثالث

المعلومات

ماذا تريدون؟

المعلومات

لن تحصلوا عليها

سنفعل، وبأية وسيلة

السجين (مسلسل تلفزيوني)

إنّ مفهوم المعلومات ذاته لم يكن جديدًا. لكن في عام 1948، عندما أدرك أحد مهندسي الرياضيات أنه يمكن قياس تلك المعلومات وتقدير كمّيتها ـ وأنها وثيقة الصلة بالديناميكا الحرارية ـ فقد أشعل شرارة الثورة وقتل العفريت.

في البداية لم تبدُ «نظرية المعلومات» على كلّ هذه الأهمية. فقد غيّرت حقًّا من أسلوب مصممي الشفرات ومن تصوّر المهندسين عن عملهم، كما مهّدت الأرضية بالفعل لبناء الكمبيوترات التي ستصبح في القريب العاجل جزءًا من الحياة اليومية. لكن حتّى، كلود شانون Claude Shannon، مؤسّس نظرية المعلومات لم تكن لديه فكرة عن المدى الذي ستصل إليه فكرته.

فالمعلومات أكثر من أن تكون إسهابًا في شفرة جنرال أو فيما بعد، تشغيل مفاتيح الكمبيوتر وغلقها. ومع أنه يمكن تمثّل المعلومات بعدّة طرق ـ كأشكال الحبر على الورق، أو تدفّق الإلكترونات خلال دائرة كهربائية، أو ترتيب الذرّات على قطعة من شريط ممغنط، أو نور يضيء وينطفئ ـ إلا أن هناك شيئًا يخصّ المعلومات يتجاوز الوسط الذي تخزن فيه. إنه جوهر فيزيائي، كخاصية يمكن أن تعزى لأشياء مثل الطاقة والشغل والكتلة. في الواقع، سيكون من المهمّ أن يتعلّم العلماء قريبًا إعادة تشكيل النظريات العلمية الأخرى وفقًا لمصطلحات تبادل المعلومات ومعالجتها. إن بعض أهم المبادئ الأساسية في الفيزياء ـ كقوانين الديناميكا الحرارية مثلًا، أو القوانين التي تخبرنا بالكيفية التي تتحرّك بها الذرّات في جزء من المادّة ـ هي في أعمق أعماقها، وفي حقيقتها قوانين عن المعلومات. لقد كان بمقدور العلماء إزالة اللبس الخاصّ بعفريت ماكسويل من مدّة طويلة لو نظروا إليه وفقًا لمصطلحات نظرية المعلومات.

وبوسع نظرية المعلومات أخذ المعادلة المكتوبة على قبر بولتزمان واستخدامها في سحق العفريت الذي هدّد بتمزيق بناء الديناميكا الحرارية الراسخ. إذ يبدو أن الطبيعة تتحدّث بلغة المعلومات، وعندما بدأ العلماء في فهم تلك اللغة، راحوا يضعون أيديهم على مواطن القوّة التي لم يتخيل حدودها حتّى شانون نفسه.

إن بطل نظرية المعلومات هو كلود إلوود شانون Claude Elwood Shannon، الذي ولد في عام 1916 بميتشجان، وكان مولعًا في صباه بإصلاح الأشياء، لذلك كان طبيعيًّا أن يرغب في دراسة الرياضيات والهندسة، وهما المجالان اللذان سيلازمانه طوال حياته حيث سيتلاقيان في نظرية المعلومات التي سيخلقها بنفسه فيما بعد. في ثلاثينيات القرن العشرين، كان شانون يعمل على إقامة جسر بين هذين المجالين بالعمل على ابتكار آلة لحلّ نوع معيّن من البنى الرياضية يسمّى المعادلة التفاضلية differential equation.

فمعادلة عادية مثل 5 س = 10، هي في الواقع سؤال من نوع: ما هو الرقم الذي لو وضع مكان س، سيحل المسألة؟ المعادلات التفاضلية شبيهة بذلك، لكن الأسئلة أكثر تعقيدًا، والإجابات في حدّ ذاتها معادلات وليست أرقامًا. على سبيل المثال، قد يقوم طالب فيزياء بإدخال أبعاد قضيب معدني مع بعض خصائصه بالإضافة إلى درجة حرارة لهب على طرفه، في معادلة تفاضلية، مستنتجًا المعادلة التي توضح درجة سخونة جزء معين من القضيب عند لحظة معينة. تلك المعادلات أساسية في الفيزياء، وقد حاول علماء ذلك الوقت بيأس إيجاد طرق لحلّها بسرعة باستخدام كمبيوترات بدائية. وبعد تخرجه من الجامعة بفترة قصيرة، حصل شانون على وظيفة جزء من الوقت part-time في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا Massachusetts Institute of Technology (MIT)، حيث عمل هناك على جهاز ميكانيكي لحلّ المعادلات التفاضلية كان قد اخترعه فانفر بوش Vannevar Bush، العالم الذي خلال عقد من الزمن سيصبح أحد أهم الشخصيات وراء تطوير القنبلة الذرية. قام شانون بالمساعدة في ترجمة المعادلات التفاضلية إلى شكل يمكن أن يفهمه الكمبيوتر، وفي نهاية المطاف بدأ يفكّر في تصاميم المرحلات الكهربائيةelectrical relays ومفاتيح التقلقل flip-flop switches التي تقع في صميم كمبيوتر المعادلات التفاضلية. لقد كتب رسالة الماجستير بينما كان يعمل جزءًا من الوقت في (MIT)، وقد بيّنت رسالته كيف يمكن للمهندسين أن يستخدموا المنطق البولياني Boolean logic ـ رياضة معالجة الآحاد والأصفار ـ في تصميم مفاتيح أفضل للأجهزة الكهربائية (بما فيها الكمبيوترات).

وبعد إنهائه الدكتوراه، استقر شانون في معامل بيل Bell Laboratories. كانت معامل بيل الذراع البحثية للشركة الأمريكية للتليفون والتليجراف (AT&T)، وهو الاسم الذي يشير ضمنيًّا إلى الشركة التي تحتكر منظومة التليفونات في الولايات المتحدة. لقد تأسّس المعمل في عشرينيّات القرن الماضي وكان معنيًّا بالأبحاث الأساسية ذات العلاقة بالاتصالات. فقام المهندسون والعلماء هناك بالمساعدة في تعبيد الطريق أمام التسجيلات الصوتية عالية الجودة، والبثّ التليفزيوني، والتليفونات المتقدّمة، والألياف البصرية، والدعامات الأساسية الأخرى لوسائل الاتصال في مجتمعنا. إن جوهر الاتصالات ببساطة هو نقل المعلومات من شخص إلى آخر، لذلك فمن غير المدهش أن مهمّة المعمل قد انتهت إلى منطقة يمكن أن تُرى على أنّها «تكنولوجيا المعلومات». فعلى سبيل المثال تم تطوير الترانزستور وأول كمبيوتر ثنائي رقمي في هذا المعمل.

كان شانون موفقًا جدًّا في معامل بيل، فتمّ إلحاقه بعد قليل بمشروع سرعان ما سيغيّر دنيا العلم. وللوهلة الأولى لم يبدُ أن أبحاثه ستكون بهذه الثورية. فقد كان يُجري أبحاثه عن مقدار السعة التي يمكن أن يستوعبها خطّ التليفون أو الاتصال بالراديو أو أي قناة اتصال أخرى. إنه بالضبط كالسؤال عن الصواميل التي تتوافق مع المسامير الحلزونية it is very nuts-and-bolts question، فقد أراد المهندسون في معامل بيل أن يعرفوا عدد المكالمات التليفونية التي يستطيع الخطّ التليفوني استيعابها في اللحظة نفسها دون حدوث أيّ تداخل بين المكالمات. وبكلمات أخرى، ما هو أقصى قدر ممكن من المعلومات يمكن تحميله على كابل نحاسي واحد.

كان علماء الاتصالات على أرض لا تظهر على خريطة. فقد عرف المهندسون من العصر الروماني المبادئ الأساسية لبناء الطرق والكبارى، وحتّى علم الديناميكا الحرارية كان قد مضى عليه قرن من الزمان. لكن الإرسال التليفوني كان شيئًا جديدًا كليًّا، فالذي يقوم ببناء كوبري

سيرغب في معرفة حجم المرور الذي سيتحمّله الكوبري ليستطيع أن يحسب كم يبلغ وزن كلّ سيارة ومقدار القوّة المطلوبة للأعمدة الصلبة التي ستدعم الكوبري. وسيمكنه استخدام مفهوم الكتلة لحساب سعة الكوبرى المقصود. لكنّ فعل الشيء نفسه مع خطّ التليفون سيجعل المهندسين في حالة من الإبهام التامّ. فلم تكن هناك طريقة واضحة لحساب عدد المكالمات التي تستطيع الشركة حشرها في خط تليفوني واحد في اللحظة نفسها. وكما يحتاج بناة الكباري لفهم الكتلة وقياسها حتّى يحسبوا سعة الكوبري، كان على المهندسين تعلم فهم المعلومات وقياسها حتّى يحسبوا سعة الخطّ التليفوني، وشانون هو الشخص الذي وضع شروط هذا الفهم الأساسي، وكان هذا أكثر كثيرًا من أن يكون صدى لعمله وحسب في شركة بيل Ma Bell.

عندما بدأ شانون في الإجابة عن السؤال عن سعة الخطّ التليفوني، وضع كلّ عناصر الرياضيات والهندسة معًا ـ كلّ ما هو معروف عن طبيعة الأسئلة والأجوبة، عن الآلات، عن المنطق البولياني وعن الدوائر الكهربائية. وعندما قام بذلك، سيكون قد خلق ثالث أعظم ثورة في الفيزياء في القرن العشرين: كما فعلت النسبية وميكانيكا الكمّ. فقد غيّرت ثورة المعلومات طريقة نظر العلماء للكون بشكل جذري. لكن نظرية شانون عن المعلومات بدأت متواضعة وفي منطقة مألوفة: إنه مجال الأسئلة والأجوبة.

جاء استبصار شانون الأول والعظيم عندما راح يفكّر في المعلومات على أنّها شيء يساعد في الإجابة عن سؤال: ما حلّ تلك المعادلة التفاضلية؟ ما عاصمة بوركينا فاسو؟ ما الجسيمات المكوّنة للذرّة؟ بدون معلومات صحيحة لن تستطيع الإجابة عن تلك الأسئلة. ربّما، بناء على معرفة محدودة ـ معلومات ـ في ذهنك، سيمكنك القيام بقليل من التخمينات غير المؤكّدة. لكن حتّى إذا لم تكن تعرف الإجابة الآن، فقد تكتشفها بثقة أكثر لو أرسل لك شخص ما المعلومة الصحيحة.

يعد هذا تجريديًّا إلى حدٍّ بعيد لذا فلنأخذ مثالًا ملموسًا. في 18 أبريل 1775 قبل انتشار الثورة الأمريكية، عرف الأمريكيون أن القوّات البريطانية كانت تستعدّ للتحرّك. لقد عرفوا أنّ الجيش البريطاني المحتشد في بوسطون Boston سيتّجه شمالًا إلى ليكسينجتون Lexington، وكان هناك احتمالٌ بأن يسلك الجيش أحد طريقين. كان الطريق الأول بسيطًا لكنّه أطول، فسيسير الجيش إلى الجنوب الغربي من بوسطون خلال شريط ضيق من الأرض ثم ينعطف شمالًا لبلوغ هدفه. أمّا الطريق الثاني فقد كان أصعب بالنسبة لخطوط الإمداد، لكنّه أسرع حيث سيعبر الجيش مصبّ نهر تشارلز Charles River ويسير مباشرة شمالًا إلى ليكسينجتون. وكان السؤال المطروح هو أي طريق سيسلكه البريطانيّون؟

كانت هناك إجابتان محتملتان لهذا السؤال: برًّا أو بحرًا. لم يكن لدى الوطنيين على الضفة الشمالية لنهر شارلز أية فكرة عن استراتيجية البريطانيين. ولذا لم يكن لديهم فكرة عن أين يمركزون دفاعاتهم. لكن بمجرد أن بدأ البريطانيون في التحرّك، علم كلّ شخص في بوسطون من فوره الطريق الذي سيسلكه الجنود البريطانيون، لكن هذه المعلومة لم تكن متاحة للمحاربين في ليكسينجتون. وإذا لم يرسل لهم أحد إجابة عن السؤال ـ المعلومة عن أي طريق سيسلكه البريطانيون ـ فلن يتمكّن الأمريكيون من بناء دفاعاتهم.

لحسن الحظّ، قام بول ريفير Paul Revere وعدد من الوطنيين الأمريكيين الآخرين قبل أسبوع من ذلك بوضع خطّة لجلب هذه المعلومة ونقلها للقوّات المدافِعة. فبمجرد تحرك البريطانيين،

استطاع حارس الكنيسة القديمة الشمالية ببوسطون ـ مثل كلّ مواطني المدينة ـ أن يرى الطريق الذي سيسلكه البريطانيون. وكان عليه تسلّق برج الكنيسة لتعليق المصابيح لإبلاغ الأمريكيين على الشاطئ الآخر. مصباح واحد كان يعني أنّ البريطانيين سيتّخذون الطريق البريّ الطويل، ومصباحان كانا يعنيان أن البريطانيين سيعبرون في قوارب. إذن فمصباح واحد كان بالبر واثنان كانا بالبحر.

عندما أضاء مصباحان على برج الكنيسة في مساء ذلك اليوم، عرف الوطنيّون من فورهم إجابة السؤال. فقد أزالت المعلومة في تلك الرسالة أي التباس بخصوص خطّة البريطانيين، وعرف الوطنيّون بيقين أن البريطانيين كانو قادمين عبورًا بالمراكب وأنهم سيصلون حالًا، بالطبع تبدّد أي شكّ متبقٍ فورًا بالجلبة التي أحدثها بول ريفر وهو يذيع الخبر مباشرة في أنحاء القرية ممتطيًا حصانه.

من وجهة نظر شانون، هذا نموذج كلاسيكي لنقل المعلومات. قبل الرسالة ـ قبل تعليق المصابيح على برج الكنيسة ـ فإنّ مستقبلي الرسالة، الوطنيين الأمريكيين، كان بمقدورهم التخمين فقط، وأيّ تخمين كانت أمامه فرصه 50% أن يكون خطأ. لكن بمجرد تعليق المصابيح، تم إذاعة الرسالة وانتقلت المعلومة من حارس الكنيسة إلى الوطنيين الأمريكيين، المصباحان أجابا عن سؤال الوطنيين، ولم يعد هناك مجالٌ للشك في الطريق الذي سيسلكه البريطانيون. فهم متأكّدون الآن بنسبة 100% من الطريق الذي سيستخدمه الجيش البريطاني. لقد قللت الرسالة من عدم يقين الأمريكيين ـ في هذه الحالة إلى الصفر ـ فيما يخصّ الإجابة عن السؤال، وهذا بالنسبة لشانون هو جوهر المعلومات.

لكن القوّة الحقيقية لفكرة شانون عن المعلومات هي أنها تعطي قياسًا لحجم المعلومات التي تنقل في رسالة ما. لقد أدرك أن سؤالًا بسيطًا كهذا ـ له إجابتان ممكنتان ـ هو بالأساس سؤال يجاب عنه بـ نعم/لا. هل سيأتي البريطانيون بالبرّ أم بالبحر؟ هل أنت ذكر أم أنثى؟ هل رقّة القطعة النقدية ستستقرّ على الظهر أم الوجه «ملك أم كتابة»، هل النور مضاء أم مطفأ؟ كلّ هذه الأسئلة يمكن إعادة صياغتها ببساطة بكلمتي نعم/لا. هل سيأتي البريطانيون بالبحر؟ هل أنت أنثى؟ هل رقّة العملة النقدية ستستقرّ على وجهها؟ هل النور مضاء؟ في كلّ حالة من تلك، لن يترك الجواب أى عدم يقين لإجابة السؤال. إذا لم يجئ البريطانيون بالبحر فسيجيئون بالبر. إذا لم تكن أنثى فأنت ذكر. إذا لم تقع العملة على وجهها فستقع على ظهرها. إذا لم يكن النور مضاءً فهو مطفأ. لذا فالسؤال الذي يجاب عنه بـ نعم/لا، يكفي كلّ تلك التساؤلات. وللرياضيات طريقة رائعة في التعامل مع الأسئلة التي يجاب عنها بـ نعم/لا: إنه المنطق البولياني.

المنطق البولياني يتعامل مع الخطأ والصواب trues and falses. نعم ولا yeses and nos. تشغيل وغلق ons and offs. وإجابة أي من تلك الأسئلة البسيطة التي يجاب عنها بـ نعم/لا، يمكن توضيحها برمز واحد من المجموعة التالية: T مقابل F ،Y مقابل N،1 مقابل 0. فليكن خيارك (للاتساق في هذا الكتاب، سأستخدم 1 للإجابات بـ نعم "true/yes/on" و0 للإجابات بـ لا "false/no/off"). سؤال: هل سيأتي البريطانيون بالبحر؟ الإجابة: 1. سؤال هل توني بلير أنثى؟ الإجابة: 0. فالأسئلة التي يجاب عنها بـ نعم/لا، يمكن أن يجاب عنها دائمًا برمز واحد يحمل أحد المدلولين. هذا الرمز هو رقم ثنائي binary digit أو بتة bit.

ظهر مصطلح بتة bit أولًا في بحث لشانون عام 1948 بعنوان «النظرية الرياضية للاتصالات» الذي أسس لما بات يعرف الآن باسم نظرية المعلومات(********). وفي نظرية شانون، أصبحت البتة الوحدة الأساسية للمعلومات.

الإجابة عن سؤال بـ نعم/لا، تتطلّب بتة واحدة من المعلومات. فأنت تحتاج لتركيب رقم ثنائي في برج كنيسة الشمال القديمة للتمييز بين مجيء القوات البريطانية بالبر أو عن طريق البحر، 0 يعنى برًّا و1 يعني بحرًا. قم بنقل هذا الرقم في رسالة وستجيب عن السؤال. لكن لا يهمّ إطلاقًا الشكل الذي ستتخذه الرسالة، قد يكون مصباحًا مقابل مصباحين على برج الكنيسة، أو ربّما ضوء أحمر مقابل ضوء أخضر. أو قد يكون علم على الجانب الأيسر من الكنيسة مقابل علم على الجانب الأيمن. أو دمدمة قذيفة مدفع في الهواء مقابل طقطقة مضيئة لوابل من طلقات بندقية. فحتّى لو اختلف الوسط كليًّا، فالمعلومة في الرسالة هي نفسها. لا يهمّ ما هو الشكل الذي ستتخذه الرسالة، فهي تحمل بتة واحدة من المعلومات. بما يسمح للوطنيين الأمريكيين بالتمييز بين الاحتمالين والإجابة عن السؤال الخاصّ بأي طريق سيسلكه الجنود البريطانيون.

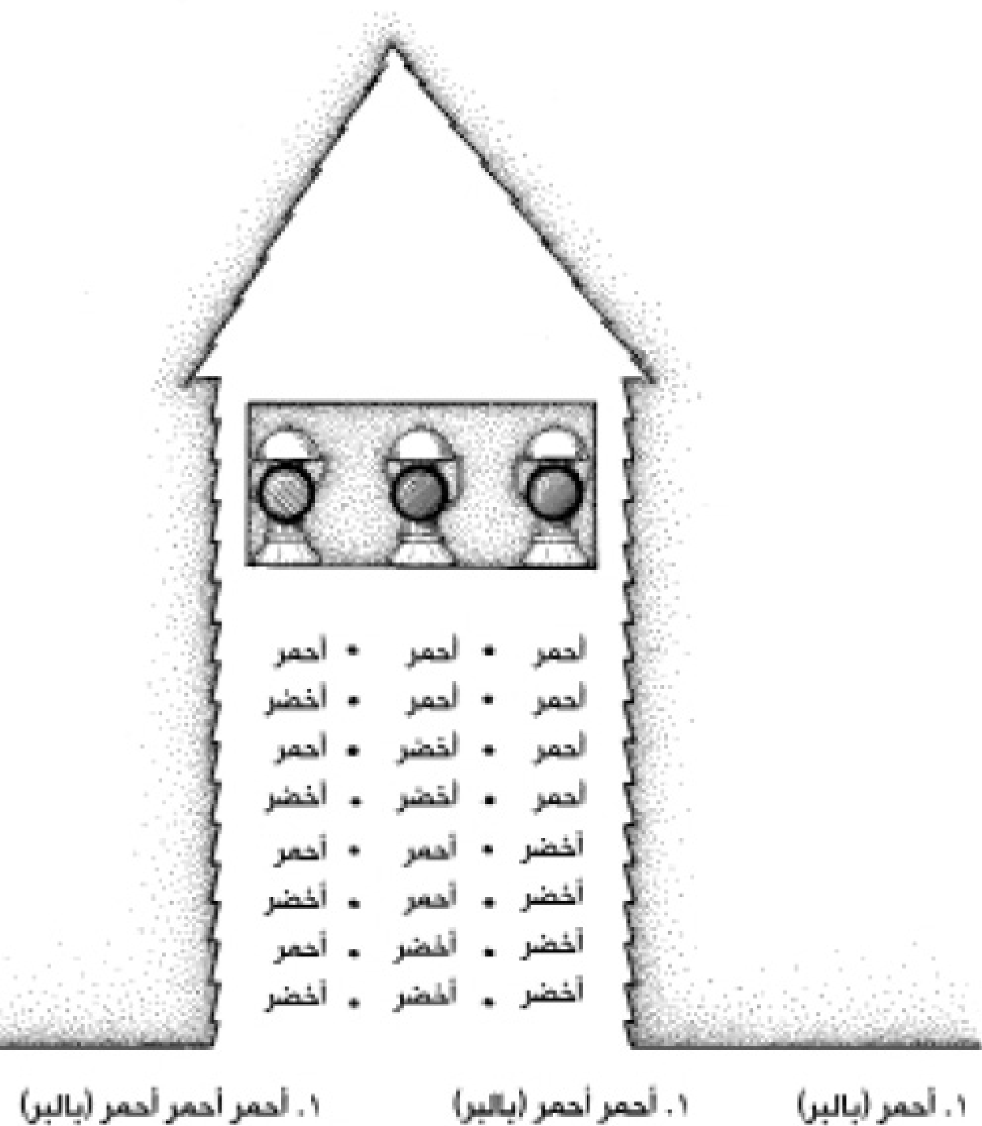
لكن ماذا سيحدث لو كان السؤال أكثر تعقيدًا ولا يمكن الإجابة عليه ببساطة بـ نعم/لا. على سبيل المثال ماذا لو أن البريطانيين كان بمقدورهم أخذ القطار من بوسطون للوصول إلى محطة ليكسينجتون؟ أو إذا كان باستطاعتهم أن يطيروا ويسقطوا بالباراشوتات من بالون القرن الثامن عشر مباشرة إلى قرية ماساشوستس. في وجود أربعة احتمالات، لم تعد بتة واحدة من المعلومات تجيب بشكل كامل عن السؤال عن كيفية مجيء الجنود البريطانيين.

في هذه الحالة، قبل أن تنتقل الرسالة، سيكون على الوطنيين الأمريكيين الاختيار من ضمن أربعة احتمالات، ومن المفترض أن كلّ احتمال له الأرجحية نفسها. لذا سيكون عليهم التخمين فقط، ولغياب أية معلومات سيمكنهم فقط أن يخمنوا بشكل صحيح بنسبة 25% في كلّ مرّة. والرسالة التي تحتوى على بتة واحدة للإجابة عن سؤال «هل سيأتي البريطانيون عن طريق البحر؟» سوف توضح فقط ربع الإجابة في المرّة الواحدة. الإجابة بـ 0 عن هذا السؤال ـ ضوء واحد على برج كنيسة الشمال القديمة ـ لا تزال تترك الأمر ملتبسًا حول ما إذا كان البريطانيون سيأتون بالبر أو بالقطار أو بالهواء. إذن الإجابة «ليس بالبحر» لن تجيب عن السؤال تمامًا، إن بتة واحدة غير كافية.

سيكون على بول ريفير الإتيان بمخطّط مختلف للإجابة عن السؤال بشكل كامل، عليه أن يأتي بطريقة لنقل أكثر من بتة واحدة من المعلومات. على سبيل المثال، ربّما عليه أن يقوم بتعليق أربعة مصابيح على برج الكنيسة: واحد إذا كان بالبر، اثنين إذا كان بالبحر، ثلاثة إذا كان بالقطار، أربعة إذا كان بالبارشوت. إذا كان هناك ثمانية احتمالات فربّما عليه تعليق ثمانية مصابيح على الكنيسة: واحد إذا كان بالبر، اثنين إذا كان بالبحر، ثلاثة إذا كان بالقطار، أربعة إذا كان بالهواء، خمسة إذا كان بطوّافة هوائية لنقل الجنود، ستة إذا كان بسفينة فضاء، سبعة إذا كان بالنقل الآني teleportation، ثمانية إذا كان على ظهر فرقة من الأشباح. وهذا العدد الكبير من المصابيح سيكتظ بها برج الكنيسة.

لكن لو كان ريفير ذكيًّا حقًّا سيتمكّن من تعديل مخطّطه جزئيًّا لتقليل عدد المصابيح المطلوبة. فبدلًا من استخدام أربعة مصابيح للتمييز بين أربعة احتمالات، يمكن لمرسل الرسالة أن يستخدم اثنين

فقط. وبوضع فلتر على كلّ منهما ليومضا بالأحمر أو بالأخضر من على برج الكنيسة ويستخدما في الإبلاغ عن الطريق الذي سيأتي منه البريطانيون: أحمر ـ أحمر تعني بالبر، أحمر ـ أخضر تعنى بالبحر، أخضر ـ أحمر تعني بالقطار، أخضر ـ أخضر تعني بالهواء. ضوءان فقط يمكن أن يكونا أحمر أو أخضر، بتتان ستجيبان تمامًا عن السؤال إذا كان هناك أربع إجابات محتملة. ستحتاج إلى بتتَين من المعلومات للتمييز بين أربعة سيناريوهات. وبالمثل، ثلاث إضاءات أحمر/ أخضر، ثلاث بتات، يمكن أن تجيب عن سؤال إذا كان هناك ثماني إجابات محتملة. ستحتاج لثلاث بتات من المعلومات للتفريق بين ثمانية احتمالات.



١. أحمر (بالبر)
٢. أخضر (بالبحر)

١. أحمر أحمر (بالبر)
٢. أحمر أخضر (بالبحر)
٣. أخضر أحمر (بالقطار)
٤. أخضر أخضر (بالجو)

١. أحمر أحمر أحمر (بالبر)
٢. أحمر أحمر أخضر (بالبحر)
٣. أحمر أخضر أحمر (بالقطار)
٤. أحمر أخضر أخضر (بالجو)
٥. أخضر أحمر أحمر (بطوافة نقل الجنود)
٦. أخضر أحمر أخضر (بسفينة الفضاء)
٧. أخضر أخضر أحمر (بالنقل الآلي)

كنيسة الشمال القديمة بمصباح ومصباحين وثلاثة مصابيح

ليس مهمًّا مدى تعقيد السؤال، ليس مهمًّا عدد احتمالات الإجابات «المحدودة» عن السؤال، فسيمكنك الإجابة عن السؤال بسلسلة من البتات، سلسلة إجابات عن أسئلة يجاب عنها بـ نعم/لا. على سبيل المثال، إذا أخبرتك بأني أفكّر في عدد يقع بين 1 و1000، فسيمكنك معرفة هذا العدد لو سألتني عشرة أسئلة فقط إجاباتها نعم/لا. هل هو أكبر من 500؟ لا. هل هو أكبر من 250؟ لا... وهكذا. وبالسؤال العاشر، إذا كنت تسأل أسئلتك بشكل صحيح، فمن المضمون أنك ستعرف الإجابة بنسبة يقين 100%.

في بداية اللّعبة، إذا خمّنت ببساطة ما هو العدد الذي أفكّر فيه، فإن لديك 1/1000 محاولة - فرصة 0.1% - أن تكون على صواب. لكن كلّ إجابة لسؤال يجاب عنه بـ نعم/لا عن العدد الذي تخمّنه ستعطيك بتة واحدة من المعلومات، بما يقلّل من عدم يقينك أكثر. هل هو أكبر من 500؟ لا. هذا يعنى أن العدد لا بدّ وأن يكون بين 1 و500، وهناك فقط 500 احتمال وليس 1000 احتمال. إذا خمّنت الآن العدد، فسيكون لديك 1/500 فرصة لأن تكون على صواب. ما زال الأمر لا يمثّل ميزة جيدة، لكنّه أفضل مرتين عن ذي قبل. هل هو أكبر من 250 ؟ لا. الآن أنت تعرف أن العدد يقع في المدى بين 1 و250، هناك فقط 250 احتمال ولديك 1/250 فرصة لأن تكون على صواب إذا خمّنت. والآن بعد ثلاثة أسئلة سيكون لديك 1/125 فرصة للتخمين بشكل صحيح. بعد سبعة أسئلة، فإن محاولة واحدة من ثماني محاولات لديها حوالي 12% من الفرصة أن تكون على صواب. بعد عشرة أسئلة، ستعرف الإجابة بنسبة 100% من الدقّة. كلّ سؤال يُجاب عنه بـ نعم/لا سوف يقلّل من عدم يقينك بخصوص إجابة السؤال عن العدد الذي أفكّر فيه. أي إجابة لسؤالك بـ نعم/لا سوف تعطيك بتة واحدة من المعلومات. التمييز بين 1000 احتمال يتطلّب فقط عشر بتات. بعشر بتات من المعلومات، بصفّ من عشرة آحاد وأصفار، ستستطيع، بنسبة 100% من اليقين، أن تجيب عن سؤال له ألف إجابة محتملة.

أدرك شانون أن السؤال الذي له عدد N من النتائج المحتملة، يمكن الإجابة عنه بصفّ من لوغاريتم بتات N. أنت تحتاج فقط لوغاريتم N من المعلومات للتمييز بين N من الاحتمالات(********). لهذا، ستحتاج لبتة واحدة للتمييز بين نتيجتين، ولبتّتين للتمييز بين أربع نتائج، ولثلاث بتات للتمييز بين ثماني نتائج، وهكذا. هذه القاعدة لها قوّة هائلة. فإن أخبرتك بأني قد انتشلت ذرّة من مكان ما في الكون، ولأن هناك فقط 8010 ذرّة في الكون ولوغاريتم 8010 هو حوالي 266، فقد يتطلّب الأمر منك أن تختار حوالى 266 سؤالًا إجابتهم بـ نعم/لا، 266 بتة من المعلومات لاكتشاف أيّة ذرّة أقصدها!

ومع ذلك، فإن المعلومات ليست فقط تخمينًا للأعداد والإجابة عن الأسئلة التي يجاب عنها بـ نعم/لا، ولن تكون مفيدة جدًّا إذا اقتصرت فائدتها فقط على الفوز في ألعاب العشرين سؤالًا games of twenty questions. فالمعلومات - المشفّرة في آحاد وأصفار والتي تقاس بالبتات - يمكن أن تستخدم لنقل الإجابة عن أي سؤال. طالما أن لهذا السؤال إجابة محدّدة. هذا صحيح حتّى بالنسبة لمعظم الأسئلة ذات الإجابة المفتوحة، تلك الأسئلة التي لا يمكن الإجابة عنها بوضوح بـ نعم/لا. مثل، ما عاصمة بوركينا فاسو؟ إذا سألتني هذا السؤال، سيمكنني أن أتواصل مع الإجابة بطريقة ما، ومن الصعب تخيّل أني سأجيء بتيار من أسئلة يجاب عنها بـ نعم/لا، بتيار من البتات التي ستنتج الإجابة التي هي واجادوجو Ouagadougou. مع ذلك وفي الحقيقة، فإن هذه بالضبط طريقة إجابتي لهذا السؤال أثناء كتابة هذا النصّ على الكمبيوتر. فمعالج كلمات الكمبيوتر به تيار

مشفّر للحروف الإنجليزية التي تتهجى واجادوجو إلى تيار من البتات، مجموعة من الآحاد والأصفار على القرص الصلب. إنه يفعل ذلك بتغيير الرموز التي تحول الأبجدية الإنجليزية في الحقيقة إلى آحاد وأصفار، بمعنى ما فإن تيارًا من الإجابات عن أسئلة يجاب عنها بـ نعم/لا سوف تتهجى كلمة واجادوجو على شاشة الكمبيوتر. ولأن الأبجدية الإنجليزية بها 26 حرفًا فقط، فستحتاج نظريًا لأقلّ من 5 بتات لتشفير كلّ حرف. ولأن واجادوجو بها أحد عشر حرفًا Ouagadougou، عندئذٍ فإن أحد عشر صفًّا، كل واحد مكوّن من خمس بتات سيكفي للنطق بالاسم ـ خمس وخمسون بتة سوف تجيب بشكل كامل عن سؤال ما عاصمة بوركينا فاسو(********). هذه البتات مخزّنة على القرص الصلب، ويتمّ نقلها إلى المحرّر الخاص عن طريق البريد الإلكتروني. وسيترجم محرّر بريدي الإلكتروني ومعالج الكلمات تلك البتات مرّة أخرى إلى لغة مكتوبة ويطبعانها في هيئة يمكن لي ولك أن نفهمها. إنها رحلة متعرّجة، لكني قد أجبت عن سؤال ما عاصمة بوركينا فاسو؟ بتيار من البتات ـ إجابات عن مجموعة من أسئلة يجاب عنها بـ نعم/لا ـ التي تعطي مع بعضها الاجابة الصحيحة.

اللغة المكتوبة ليست إلا تيارا من الرموز، وهذه الرموز يمكن أن تكتب كسلسلة من البتات. لذا فإن أي سؤال له إجابة يمكن أن تكتب بلغة ما، أي سؤال له إجابة محدّدة بأي شكل، يمكن أن يكتب كسلسلة من آحاد وأصفار. والأكثر من ذلك، أن شانون قد أدرك أن أي سؤال يعبر عن إجابته بطريقة محدّدة يمكن أن يجاب عنه بصفّ من البتات. بكلمات أخرى، أية معلومة، أية إجابة عن أي سؤال معيّن يمكن التعبير عنها بسلسلة من الآحاد والأصفار. فالبتات هي الناقل الكوني للمعلومات.

إنه لإدراكٌ مذهل. فإذا كانت أية معلومة، أية إجابة لواحد من تلك الأسئلة يمكن تشفيرها كصفٍّ من البتات، فإن هذا سيعطيك طريقة لقياس كمية المعلومات الموجودة في رسالة ما. ما أقلّ عدد من البتات تحتاجه لتشفير الرسالة؟ خمسون بتة؟ مائة بتة؟ ألف بتة؟ حسنًا، هذا بالضبط هو حجم المعلومات الذي تحتويه الرسالة. هذا هو مقياس المعلومات في الرسالة: كم عدد البتات التي تحتاجها لنقلها من المرسل إلى المستقبل.

لقد رأى شانون أن المنطق العكسي يجوز أيضًا. فإذا قمت باعتراض رسالة، إذا اختطفت تيارًا من الرموز، مثل حروف أبجدية ما، فسيمكنك تقدير الحدّ الأقصى من المعلومات التي يحتويها هذا التيار ـ حتّى لو لم تكن تعرف طبيعة تلك المعلومات. سيؤدّي هذا إلى بعض التحليلات المروّعة. إن نموذج كتاب يحتوى حوالي 70,000 كلمة مثل هذا الكتاب ويحتوى حوالي 350,000 حرف، يمكن تشفير كلّ حرف فيه بخمس بتات لذا فكلّ ما يمكن قوله، إن كتابًا مثل هذا يمكن أن يحتوى أقل من مليونين من بتات المعلومات، وعادة ما يحتوى أكثر من ذلك بقليل. بإيجاز أكثر، فإن مليونين من البتات يمثلان حوالي 0.25% من سعة قرص مدمج CD نموذجي، أو0.04% من سعة قرص مضغوط DVD. لذا، وبمصطلحات نظرية المعلومات، فإن هذا الكتاب يحمل معلومات تقدر بحوالي أحد عشر ثانية من ألبوم بريتني سبيرز الأخير أو ثانيتين ونصف من فيلم «غباء في غباء».

بالطبع، لا يوضح هذا التحليل كمية المعلومات التي تحملها تلك الوسائط الإعلامية في الواقع، قد يوضّح الحدّ الأقصى الذي يمكن أن تحمله تلك الوسائط، لكنّه لا يوضّح طبيعة تلك المعلومات. إنه يأخذ المزيد من المعلومات ليخبر شاشة التلفزيون كيف تقوم بتلوين عشرات الصور كلّ ثانية أو

يجعل السماعات تصدح بالطريقة الصحيحة أكثر ممّا تفعل لترتيب خيط من الخربشة على ورقة. ليست كلّ المعلومات على القرص المدمج أو القرص المضغوط تجيب عن الأسئلة التي يلحظها البشر، لكنّها معلومات على أيّ حال. هل رقم البكسل pixel 3140 أسود أم بني غامق في إطار الصورة رقم 12,331 من فيلم غباء في غباء؟ هل صرخة بريتنى E-flat في الثانية 3.214 أم في الثانية 3.215؟ ربّما لا نلحظ أو حتّى لن تعنينا الإجابة عن هذه الأسئلة، لكنّ الأقراص المدمجة والأقراص المضغوطة تجيب عنها طوال الوقت، وهذا يتطلّب الكثير من المعلومات. لهذا يحتاج القرص المدمّج إلى تخزين الكثير من المعلومات، حتّى إن القرص المضغوط يتطلّب معلومات أكثر. وبالمقارنة فإن الكتاب يعتبر صحراء للمعلومات. وما يجعل الأمر أكثر إحباطًا للمؤلّف، هو أن تسلسل الحروف المكتوبة في لغة البشر يحمل معلومات أقل بكثير من الحدّ الأقصى الذي يمكن أن يحمله تسلسل من ستة وعشرون رمزًا.

قبل استجلاء المعلومات التي تحتويها لغة، دعنا نعود للمثال البسيط جدًّا، صفّ من الأرقام الثنائية. كما رأينا، كلّ رقم في التسلسل يمكن أن يحمل بتة من المعلومات. لكن ليس الحال هكذا دائمًا. تخيّل شخصًا ما أرسل لك خيطًا من 1000 بتة ـ رسالة ربّما احتوت 1000 بتة من المعلومات ـ ربّما فقرة قيّمة من نصّ مشفّر بطريقة ثنائية. لكن عندما تحصل على الرسالة، ستفاجأ برؤية 1111111111..... سوف ترى بداهة أن هذا الخيط لا يحتوى كثيرا من المعلومات بأي حال، على كلّ وفي الحقيقة ووفقًا لمصطلحات نظرية المعلومات فمن المحتمل أن يكون الأمر كذلك.

أنا لم أعطك كلّ الصف. في الحقيقة أنا فقط أعطيتك عشرة آحاد وأنت كنت قادرًا على استنتاج أن بقيّة الخيط ذي الألف بتة مؤلّف أيضًا من آحاد. لقد منحتك 1% من الأرقام فحسب، وستستطيع دون عناء تفكير إطلاقًا، إنتاج الـ 99% الباقية. لذا فبـ 10 بتات فقط يمكنني أن أرسل لك كلّ الرسالة ـ يمكنني فعل ذلك بعدد أقلّ من البتات. إذا قلت إن الخيط كان 1111 أو 11 أو حتّى 1، سيكون بمقدروك حساب مجمل الرسالة. وبكلمات أخرى، لقد ضغطت الرسالة ذات الـ 1000 رقم إلى رقم ثنائي واحد. إن بتة واحدة كانت كافية لبيان ماذا كانت عليه الرسالة كلّها. لكن إذا كان ممكنًا ضغط الرسالة إلى بتة واحدة، فسيكون بمقدورها حمل بتة مفردة واحدة من المعلومات أو أقلّ.

وبالمثل، فإن الرسالة 010101 يمكن ضغطها إلى حوالي بتتين، ومن المحتمل أن تحتوي غالبًا على بتتين من المعلومات. والرسالة 0110011001100110 لديها حوالي أربع بتات، حتّى إن صفًّا كاملًا من 1000 رقم يمكن، أن يحتوي نظريًّا الكثير والكثير من المعلومات، وهذه الصفوف قابلة للانضغاط إذا أمكن التنبؤ بها. يمكنك أن تأتي بعدد من القواعد البسيطة التي ستولد كلّ صفّ الأرقام. وإذا فقد رقم في النقل ـ ربّما الرقم الـ 750 في الصفّ المكوّن من 1111...... يكون بالأحرى 0 أكثر منه 1 ـ فإن تلك القواعد ستجعلك تعرف أن 0 هو خطأ على الأرجح. فالقواعد التي تسمح لك بإنتاج الرسالة كلّها من بتات قليلة وحسب، تسمح لك بتصحيح الصفّ إذا صنع أحدهم خطأ مطبعيًّا، فالقواعد تجعل الخيط مسهبًا.

هكذا نكون قد أتممنا الدائرة، لقد قدم الفصل الأول المعلومات على أنها ما يتبقى عندما نزيل كلّ الإسهاب من تسلسل الرموز. والفصل الحالي بدأ بتعريف منهجي للمعلومات وما يستتبعها من إسهاب، مع أننا لم نقم بتعريف الإسهاب منهجيًّا وفقًا لنظرية المعلومات، وهذا بالضبط ما كان يحيل إليه الفصل الأول. فالإسهاب هو شيء فائض في صفّ من الرموز. إنه الجزء القابل للتوقّع

الذي يسمح لك بإكمال المعلومات الناقصة. وبسبب القواعد والأشكال غير المكتوبة في صفٍّ من الرموز، يمكننا تجاهل معظم الرسالة أو حتّى نزيل أجزاء منها. ففي التسلسل 11111....، يمكننا التخلّص تقريبًا من كلّ الأرقام ونظلّ قادرين على إعادة بناء كلّ الرسالة، وهذا لأن الرسالة بسيطة ومسهبة جدًّا.

ويدرك علماء الكمبيوتر تمامًا وجود الإسهاب في تيار البتات والبيتات لسببين رئيسيين. السبب الأول، لإصلاح الخطأ، فالإنسان يقوم بالأخطاء عندما يقوم بإدخال صفّ طويل من الأرقام، لذلك فكروت الائتمان والأرقام المسلسلة وشريط الرموز bar codes والعديد من الأرقام الأخرى مبطنة بالإسهاب، ولذلك سيتمكّن الكمبيوتر من اكتشاف قيام أحد بإدخال البيانات بشكل خاطئ(********). لكن والأكثر أهمية من هذا، أن الكمبيوتر مثل الإنسان ليس معصومًا من الخطأ. فوحدات المعالجة المركزية CPUs تقوم بأخطاء عندما تجرى عمليات الضرب أو الجمع، فالذاكرة تنكب على البتات المتقلّبة عرضيًّا أو قد تنهار تمامًا وتفقد الأقراص الصلبة البيانات. وتسعى الكمبيوترات لأن تكون دقيقة بالرغم من هذه الأخطاء، لذا يكون هناك بعض الإسهاب المبني داخل بروتكولات الكمبيوتر، ويستخدمها الكمبيوتر لكشف وتصحيح أي خطأ يقوم به. فتصحيح الخطأ موضع حاسم جدًّا لعمليات الكمبيوتر.

السبب الثاني الذي يجعل علماء الكمبيوتر مدركين للإسهاب هو أن ملفات الكمبيوتر لا تعدو كونها آحادًا وأصفارًا مكتوبة على البطانة الممغنطة للقرص الصلب أو منقوشة على أي وسيلة تخزين مشابهة، لذا فبإزالة الإسهاب والإبقاء على المعلومات يستطيع المهندسون ضغط ملفّ الكمبيوتر وجعله يشغل حيّزًا أقلّ على ذلك القرص. فملفّ نصّي على قرصي الصلب، كالفصل التمهيدي لكتابي الأول «الصفر» يحتوي 581 كلمة ويشغل حيّزًا قدره 27,500 بتة. وبعد ضغطه ببرنامج ضغط تجاري، سيشغل فقط حوالي 14,000 بتة ولا يزال يتضمّن كمية المعلومات نفسها.

لا ينبغي أن نُدهش لأنه يمكن ضغط الملفّ النصّي جدًّا دون فقد أية معلومات. فلقد رأينا بالفعل كيف أن اللغة الإنجليزية واللغات الإنسانية الأخرى لها باع طويل من الإسهاب مبنيّ بداخلها. فالقوانين غير المكتوبة وراء قواعد النحو والاستخدام الصحيح للإنجليزية تضفي قدرًا كبيرًا من الإسهاب على الإنجليزية، وبتيار غير كامل من حروف الإنجليزية، يمكننا غالبًا أن نكمل هذا التيار دون مجهود كبير. إن حروف الإنجليزية عبارة عن رموز كأيّ لغة أخرى، لذا فالإنجليزية المكتوبة ـ تيار من تلك الحروف ـ لا تختلف كثيرًا من حيث المبدأ عن تيار الآحاد والأصفار. ومثل أي سلسلة رموز بها إسهاب كبير، يمكن أن تضغط الإنجليزية جدًّا دون أن تفقد أيّة معلومة(********). في الواقع فإن عملية الضغط هذه تتمتع ببراعة صارمة، فحتّى لو احتجت لخمس بتات لتحديد حرف في مجرى النصّ ـ وأكثر من خمس بتات للتفريق بين الحروف الكبيرة والصغيرة ـ فمعنى هذا أن ما يحمله كلّ حرف في اللغة الإنجليزية لايتجاوز، في المتوسط، ما بين بتة واحدة أو اثنتين من المعلومات.

إن أحد أعظم انتصارات نظرية المعلومات لشانون هو ما سبق تعريفه بالإسهاب وحساب كمّية المعلومات التي يمكن أن يحملها تيار من الرموز، سواء كان مسهبًا أم لا. والذي أصبح فيما بعد تنظيرة theorem شانون الشهيرة عن سعة قناة التوصيل. لقد كان القصد في البداية مساعدة المهندسين على حساب كمّية الموادّ التي يمكن إرسالها خلال قنوات الاتصالات ـ مثل كمّ عدد

مكالمات التليفون التي يمكن أن يحملها خطّ التليفون ـ لكن الأمر انتهى إلى تغيير الطريقة التي ينظر بها العلماء إلى المعلومات للأبد. فهذه التنظيرة أخذت قوّتها لأن شانون قام بتحليل مصادر المعلومات بطريقة مدهشة: إنها الانتروبيا. والفكرة المركزية في نظرية شانون هي الانتروبيا. فالانتروبيا والمعلومات يرتبط كلاهما بالآخر، والانتروبيا في الحقيقة هي مقياس للمعلومات.

كان استنتاج شانون للطريقة الرياضية لقياس المعلومات واحدة من الأفكار المركزية التي أدّت إلى تنظيرة سعة قناة التوصيل. ففي عام 1948، أتى بدالّة function أتاحت له تحليل المعلومات التي في الرسالة أو المعلومات المرسَلة في خطّ اتصال بمصطلحات البتات. وفي الحقيقة، بدت دالّة شانون بالضبط مثل تلك التي استخدمها بولتزمان لتحليل انتروبيا وعاء مملوء بالغاز.

أولًا، لم يكن شانون متيقِّنًا مما يسمّي به هذه الدالّة. لقد أحسّ أنّ كلمة المعلومات ملتبسة لأنّ لها بالفعل العديد من الدلالات في اللغة الإنجليزية، إذًا بمَ عليه أن يسمِّيها؟ وكما أخبر شانون أحد زملائه في معامل بيل:

(لقد فكّرت في تسميتها «معلومات» لكن الكلمة كانت مستخدَمة بغزارة، لذا قرّرت تسميتها «عدم اليقين». وعندما تناقشت مع جون فون نيومان John von Neumann، كانت لديه فكرة أحسن، أخبرني فون نيومان [عليك أن تسمّيها انتروبيا لسببين، أولًا لاستخدام دالّة عدم اليقين الخاصّة في الميكانيكا الإحصائية تحت الاسم نفسه، فهي بالفعل لديها اسم. وثانيًا، والأكثر أهمية، أن لا أحد يعرف الانتروبيا حقيقة، لذا ففي أي مناظرة ستكون لك الأولوية دائمًا])(********).

في الواقع فإن مصطلحي الانتروبيا والمعلومات ملتبسان بشكل كبير ويبدو أن لا علاقة بينهما. فكيف يمكن ربط معلومة أو إجابة سؤال بالانتروبيا، أو ربطها بقياس عدم احتمالية ترتيب شيء في وعاء ما؟ إلا أنه وكما سيثبت في النهاية، فإن الاثنين مرتبطان بقوّة أكثر ممّا توقّع شانون في عام 1948. المعلومات وثيقة الصلة بالانتروبيا، والطاقة التي هي موضوع الديناميكا الحرارية. بمعنى ما فإن الديناميكا الحرارية هي مجرّد حالة خاصّة من نظرية المعلومات.

وبشكل عامّ كانت الدالّة التي اشتقها شانون مقياسًا لمدى عدم التنبؤ بصفّ من البتات. وكلّما كانت أقل تنبُّؤًا، قلّت القدرة على استنتاج مجمل الرسالة من صفّ أصغر من البتات، أو بكلمات أخرى، كلّما كانت أقلّ إسهابًا. فكلّما قلّ الإسهاب في الرسالة، زادت المعلومات التي تحتويها، لذا فبقياس عدم التنبؤية unpredictability هذا، كان شانون يأمل في أن يستطيع استخراج المعلومات المخزنة في الرسالة.

إلى أين يمكن أن يصل أقصى انعدام للتنبّؤ لصفّ من الآحاد والأصفار؟ لدي هنا في جيبي أعظم ما لا يمكن التنبؤ به، إنه مولد تيار البتات: العملة المعدنية. إن رفة العملة هي حدث عشوائي تمامًا، وعشوائي ببساطة تعني «لا يمكن التنبُّؤ به». فلديك فقط فرصة 50% لأن تتنبّأ بالوجه الذي ستستقرّ عليه العملة. وأكثر من ذلك، لا يمكنك أن تأتي بالقانون الذي يجد شكلًا لتسلسل رفّات العملة لأنه لا يوجد ترتيب. وها هنا سلسلة عشوائية من ستّ عشرة بتة، أنا فقط قمت برفّ العملة ستّ عشرة مرّة وكتبت 0 إذا كانت على الوجه «كتابة» و1 إذا كانت على الظهر «ملك»: 1011000100001001. هذه سلسلة عشوائية بلا شكل محدّد. لا توجد قوانين خفيّة ستخبرك ما نتيجة رقّة ما، أو ستعطيك حتّى فرصة أفضل من 50% لتخمين أي رقم ستكون عليه. هذا غير

قابل للانضغاط، لذلك يميل مثل هذا التيار ذي المظهر العشوائي إلى حمل ستّ عشرة بتة من المعلومات، كلّ رمز في التيار يميل لحمل بتة من المعلومات.

في الجانب الأقصى الآخر، تخيّل أن العملة المعدنية موجّهة بحيث: إنها دائمًا بنسبة 100% من المرّات ستستقرّ على ظهرها. إذا كنت أقوم بإنتاج تيار من ست عشرة بتة فإنه سيبدو على هذا النحو 1111111111111111. هذا سهل التنبّؤ به، فلديك 100% فرصة تخمين ماذا ستكون نتيجة أي رقّة للعملة أو ماذا سيكون أي رقم في التيار. إنه مسهب كلّيًّا، لذا فإنه لا يحمل أي معلومة، كلّ رمز في هذا التيار لا يحمل أيّ بتة من المعلومات.

ماذا عن شيء ما بين الاثنين، ماذا لو كانت العملة المعدنية مضبوطة بحيث تقع على ظهرها 75% من المرّات وعلى وجهها 25% من المرّات؟ إن ستّ عشرة رقّة بتلك العملة ستنتج شيئًا مثل هذا 0101011111111111 ولا يمكن التنبّؤ به كلّيًّا. لكن بما أن العملة موجهة بحيث تعكس نتيجة ما، فإذا سألك شخص أن تخمّن أي رقم، فستكون مصيبًا في 75% من المرّات إذا خمّنت 1 دائمًا. ها هنا قانون خفي سيساعدك على تخمين نتيجة أي رقّة، لذلك فإن تيارًا كهذا سيكون مسهبًا بشكل ما، لكن ليس بشكل كامل لذا فإنه يحمل بعض المعلومات، لكن ليس بشكل كامل لكلّ رقم.

وكلّما كان التيار أكثر عشوائية ـ أقلّ تنبؤًا ـ كلّما كان أقلّ إسهابًا، زادت المعلومات التي يميل إلى حملها لكلّ رمز. تبدو هذه الجملة متناقضة ظاهريًّا، فكيف يمكن لشيء مسهب بذاته أن يحمل رسالة؟ أليست العشوائية نقيض المعلومات الهادفة؟ نعم، لكن نقطة شانون أن هذه التيارات التي تبدو عشوائية ـ تلك الأقل تنبؤًا ـ هي التي تحمل المعلومات الأكثر لكلّ رمز. وتلك التي لا تبدو عشوائية ـ التيارات التي يمكن التنبؤ بها ـ ستكون مسهبة، ولذلك فمن المحتمل أن تحمل معلومات أقلّ لكلّ رمز أكثر من تلك التي تبدو عشوائية.

وسبب وضعي لكلمات مراوغة مثل «يميل إلى» و«محتمل» في التحليل السابق لما يحتويه تيار الأرقام من معلومات هو أني أقوم بالتبسيط الشديد قليلًا، وهذه نقطة صغيرة لكنّها هامّة. تحليل شانون في الواقع يتمّ تطبيقه على مصدر الرسالة ـ سواء كان كمبيوتر يرسل إشارات إلكترونية أم تليفون محمول يرسل بيانات صوتية ـ أكثر من تطبيقه على رسالة فردية بذاتها. فمصدر بيانات مثل كمبيوتر بطيء، يستخدم قاعدة «كلّ الأرقام المنتجة هي آحاد» لتوليد رسالة فإنه دائمًا سيعطي الرسالة «11111111....». وكلّ رسالة من هذا المصدر ستبدو متشابهة ولن تحتوي معلوماتٍ إطلاقًا. لكن مصدر المعلومات الذي لا تحكمه قاعدة ـ حيث الأصفار والآحاد متساوية ومتماثلة ومستقلة كلّ عن الآخر ـ سيكون ميّالًا لإنتاج ما «يبدو عشوائيًّا» شريط مثل «10110001....» على خلاف مصدر «الآحاد الدائمة» الذي ينتج دومًا الرسالة نفسها بدون أية بتة معلومات لكلّ رقم. هذا المصدر الذي «يبدو عشوائيًّا» يمكنه إنتاج العديد والعديد من أنواع الرسائل المختلفة، كلّ منها لديه بتة من المعلومات لكلّ رقم. لكن ـ وهنا الجزء المخادع ـ يمكن للمصدر الذي «يبدو عشوائيًّا» أن ينتج أيضًا الرسالة «11111111....»، إنه غير محتمل جدًّا جدًّا، لكنّه ممكن(********).

هذا توضيح جانبي، إنه لأمرٌ معقول تمامًا التحدّث عن محتوى المعلومات في تسلسُل من الأرقام، لكن إذا كنت ستفعل ذلك ـ إذا كنت ستقيس المعلومات المحتمل تخزينها في مجموعة من الرموز ـ فإنه يجب أن تأتي ببعض التقديرات التنبؤية، عما «يبدو عشوائيًّا» لهذا التيار. لقد جاء شانون

بإحداها، إذا كانت p هي احتمالية 1 في تيار الآحاد والأصفار، فالعشوائية سترتبط بلوغاريتم p. لوغاريتم p يجب أن يبدو مألوفًا ـ إنه يظهر بارزًا في تحليلنا لانتروبيا وعاء مملوء بالغاز، وليس مصادفة أن قياس شانون للعشوائية مماثل تمامًا لدالّة بولتزمان عن الانتروبيا.

تذكّر أنّنا استنتجنا انتروبيا بولتزمان بقذف كرات البلي في الصندوق. ثم أحصينا فيما بعد إذا ما كانت الكرات ستقع في الجانب الأيسر أو الجانب الأيمن، وهذا يماثل رفّ العملة، فكلّ كرة بلي تقع في الصندوق قد تقع في الجانب الأيسر أو الجانب الأيمن، بالضبط كالعملة التي قد تسقط على وجهها أو على ظهرها. انتروبيا بولتزمان هي قياس احتمالية كلّ نتيجة في تجربة قذف كرات البلي. الأكثر احتمالية وهو سقوط نصف البلي في الجانب الأيسر والنصف الآخر في الجانب الأيمن سيكون له انتروبيا أعلى، والأقل احتمالية حيث تقع 100% من كرات البلي في الجانب الأيسر أو 100% في الجانب الأيمن، سيكون له انتروبيا أقلّ. النتائج بين هذين الحدّين الأقصى، حيث مثلًا، 75% من الكرات تقع في الجانب الأيسر و25% تقع في الجانب الأيمن، سيكون لها انتروبيا متوسطة.

هذا بالضبط الشيء نفسه الذي نراه في تيارات الأرقام. فالوضع 50% آحاد و50% أصفار سيبدو أكثر عشوائية، ويمكنه أن يحمل أقصى معلومات، وسيكون له انتروبيا شانون أكبر. وفي حالة إذا ما كان 100% من الأرقام آحاد فإنه سيبدو الأقل عشوائية، ويمكن أن يحمل أدنى قدر من المعلومات، وسيكون له انتروبيا شانون أقلّ. في الحالات الوسطية حيث 75% آحاد و25% أصفار، ستكون عشوائية بدرجة ما، وستحمل بعض المعلومات، وسيكون لها انتروبيا شانون متوسطة. في الحقيقة، مثل هذا التيار قد يحمل 0,8 بتة لكلّ رمز، فالانتروبيا والمعلومات توءمان.

عندما أدرك شانون أن انتروبيا تيار من الرموز مرتبطة بكمّية المعلومات التي يميل التيار إلى حملها، أصبح لديه فجأة وسيلة لتقدير كمية المعلومات والإسهاب في رسالة، وهو ما عكف على تحديده مع ذلك. لقد كان قادرًا على تحديد كمية المعلومات التي يمكن نقلها في أي وسط، وإثبات ذلك رياضيًّا. سواء كانت عن طريق سواري الأعلام أم إشارات الدخان أم بمصابيح على برج الكنيسة أم بالتليغراف. أم إثبات كمية المعلومات التي يمكن أن يحملها خطّ التليفون النحاسي. هذه نتيجة مدهشة: هناك حدّ أساسي لكمّية المعلومات التي يمكن نقلها عن طريق جهاز ما. لقد اكتشف أيضًا كيفية التعامل مع الاتصالات ذات الضجيج بين المرسل والمستقبل («القنوات» المشوشة) ومع طرق النقل غير المصنوعة من رموز متقطّعة لكن من رموز متصلة. وقاد عمله إلى شفرات تصحيح الأخطاء التي تسمح للكمبيوترات بالعمل. كما قام شانون أيضًا بحساب كمّية الطاقة المطلوبة لنقل بتة من مكان إلى مكان تحت ظروف معينة.

لقد افتتح عمل شانون مجالًا جديدًا كلّيًّا من المعرفة العلمية: نظرية الاتصالات والمعلومات. فقد حاول مصمّمو الشفرات لسنوات إخفاء المعلومات وتقليل الإسهاب دون أن يعرفوا كيفية قياسها، كما سعى المهندسون إلى تصميم وسائل لنقل الرسائل بكفاءة دون أن يعرفوا الحدود التي تضعها الطبيعة على كفاءتها. وقد عملت نظرية شانون للمعلومات على تثوير عملية التشفير وهندسة الإشارات وعلوم الكمبيوتر وعدد من المجالات الأخرى. وإذا كان هذا هو ما قامت به نظرية المعلومات، فإنها ستكون ثورة نادرة بمقياس النسبية وميكانيكا الكمّ. وما أعطى لنظرية المعلومات قوّتها الحقيقية هو ارتباطها الوثيق بالعالم المادّي. فتبدو الطبيعة وكأنها تتكلّم بمصطلحات

المعلومات، وفقط من خلال نظرية المعلومات استطاع العلماء فهم الرسائل التي كانت ترسلها الطبيعة.

شانون نفسه لم يركز على الارتباط بين عالم المعلومات التجريدي وبين عالم الديناميكا الحرارية الملموس. وبجانب اشتغاله على نظرية المعلومات، قام بعمل تحليل رياضي للرميات العشوائية وصار مهتمًّا بالسيبرنطيقا وبالذكاء الصناعي وبتعليم الكمبيوتر على لعب الألعاب. وبناء على مناقشات مارفن مينسكي Marvin Minsky المرشد الروحي للذكاء الاصطناعي، قام شانون فعلًا ببناء ما أسماه «الآلة القصوى» والتي ربّما تمثّل ما سيحدث عندما تتعلّم الآلات كيف تفكّر (********).

لكنّ العلماء الآخرين كانوا منهكين بالأسئلة. أكانت انتروبيا شانون مرتبطة حقًّا بانتروبيا الديناميكا الحرارية، أم أنه تشابهٌ جمالي؟ فكَونُ انتروبيا شانون (قياس المعلومات) بدت مشابهة رياضيًّا بالضبط لانتروبيا بولتزمان (قياس الاضطراب) لايعني بالضرورة أن الاثنتين مرتبطتان فيزيائيًّا. فقد بدت العديد من المعادلات متشابهة وكان لديها القليل لتفعله، والتوافقات الرياضية يزخر بها العلم. لكن في الحقيقة، فإن انتروبيا شانون هي انتروبيا الديناميكا الحرارية بالضبط كما هي انتروبيا المعلومات. نظرية المعلومات ـ علم التعامل مع البتات ونقلها ـ مرتبط ارتباطًا وثيقًا بالديناميكا الحرارية الذي هو علم التعامل مع الطاقة والانتروبيا ونقلهما.

وفي الحقيقة، فقد تخلّصت نظرية المعلومات من أكثر التناقضات الظاهرية في الديناميكا الحرارية ـ عفريت ماكسويل ـ مرّة واحدة وإلى الأبد. لقد مثّل عفريت ماكسويل مشكلّة لأنه بدا كأنه يفتح ثغرة في القانون الثاني للديناميكا الحرارية. فالعفريت الدقيق الذكي ـ سواء كان إنسانًا أو آلة ـ بدا وكأنه يستطيع أن يستغلّ العنصر الإحصائي والعشوائي في المادّة لتقليل الانتروبيا دون أن يستهلك طاقة. وإذا كان هذا صحيحا، حتّى من حيث المبدأ، فسيفتح كوّة في القانون الثاني للديناميكا الحرارية. وبمجرد أن يكتشف أحد ما كيفية تصنيع هذا العفريت فإنه سيجري إمداد العالم بكمية طاقة لا نهائية ولن تتغيّر انتروبيا العالم على الإطلاق. وهكذا كان يجب إيقاف العفريت، بالطبع.

أول خطوة لتبديد غموض العفريت جاءت قبل أن تتشكّل نظرية شانون للمعلومات بشكل رسمي، لكنّها كانت مرتبطة مع ذلك بالمعلومات. ففي عام 1929، قام عالم الفيزياء ليو زيلارد Leo Szilard النمساوي المولد، بتحليل نسخة معدّلة من عفريت ماكسويل ـ فبدلًا من فتح المصراع أو غلقه، فإن عفريتًا سيقرّر ببساطة إلى أي جانب ستستقرّ الذرّة ـ لكن الفيزياء التي تقف وراء عفريت زيلارد كانت بالضبط مثل فيزياء ماكسويل. وخلال تحليله التفصيلي، أدرك زيلارد أن عملية قياس موضع الذرّة (أو في حالة ماكسويل، سرعة الذرّة القادمة) لا بدّ لها وبطريقة ما، أن تزيد من انتروبيا الكون، بالتضادّ مع إنقاص العفريت لانتروبيا الكون. فعندما يقوم العفريت بقياس ما، فإنه يحصل على إجابة لسؤال: هل الذرّة على الجانب الأيمن من الصندوق أم على الجانب الأيسر؟ هل الذرّة ساخنة أم باردة؟ هل ينبغى فتح المصراع أم لا؟ لذا فإن القياس هو استخلاص للمعلومة من الجسيم، وتلك المعلومة لا تأتي مجانًا. شيء ما عن تلك المعلومة ـ سواء استخلاصها أو معالجتها ـ لا بدّ له أن يزيد من انتروبيا الكون. في الحقيقة، قام زيلارد بحساب أن «تكلفة» تلك المعلومة هو كمّية معينة من الطاقة المفيدة ـ وبأكثر دقّة، ($kT \log 2$) جول لكلّ بتة من المعلومات، حيث T هي درجة حرارة الغرفة التي يوجد بها العفريت وk هو الثابت نفسه الذي استخدمه بولتزمان في معادلته عن الانتروبيا. إن استخدام هذه الطاقة المفيدة سيزيد من انتروبيا

الصندوق. لذا فإن عملية الحصول على هذه المعلومة والعمل عليها سيزيد من انتروبيا الكون بالتضادّ مع جهود العفريت لإنقاص انتروبيا الصندوق بما قيمته (kT log 2) جول لكلّ بتة من المعلومات التي سيحصل عليها ويعمل عليها.

في عام 1951، قام عالم الفيزياء ليون بريّوين Leon Brillouin بإلهام من نظرية شانون باتخاذ الخطوة التالية، فقد حاول أن يحسب بتحديد أكثر، ماذا الذي كان يفعله العفريت الذي تسبب في زيادة انتروبيا الصندوق. لقد أدرك بريّوين أن العقبة الكبرى هي أن العفريت كان أعمى. فالصندوق مظلم، وليس بمقدور العفريت رؤية الذرّات، لذا فإن بريوين قد أعطى العفريت ومضة ضوء للمساعدة في إضاءة الجسيمات المنزلقة. فكان بمقدور العفريت أن يومض ضوءًا على الجسيم الآتي وعندما تنعكس الأشعة عن الذرّة، سيتعامل العفريت مع المعلومات التي سيتلقّاها ويقرّر إذا ما كان سيفتح الصمام أم سيغلقه. وقد حسب بريّوين أن تسليط الضوء على ذرّة، واستقبال الضوء المنعكس، والعمل على تلك المعلومات لا بدّ أن يزيد من انتروبيا الصندوق على الأقل بمقدار ما يقوم العفريت بإنقاصه. والأهم من ذلك، بما أن استخلاص معلومات تشبه معلومات شانون والعمل عليها للإجابة عن السؤال عن درجة حراة الذرّة الآتية ـ أهي ساخنة أم باردة؟ ـ سيزيد من انتروبيا الديناميكا الحرارية للصندوق، فقد خلص بريّوين إلى أن انتروبيا الديناميكا الحرارية وانتروبيا شانون كانتا مترابطتين مباشرة. ولا بدّ من استخدام لغة نظرية المعلومات بدلًا من لغة الديناميكا الحرارية لتحليل تصرّف صندوق مملوء بالغاز.

إن قوانين نظرية المعلومات تعطي منظورًا يختلف قليلًا عمّا تعطيه قوانين الديناميكا الحرارية. خذ صندوقًا مملوءًا بالغاز على سبيل المثال، بلغة الديناميكا الحرارية يمكننا إضافة طاقة (بتشغيل المكيف أو بتوظيف عفريت ماكسويل) لفصل الجسيمات الساخنة عن الباردة، مقلّلين من انتروبيا الصندوق بما يجعل أحد جوانب الصندوق ساخنًا والجانب الآخر باردًا. عندئذٍ وبعد التوقّف عن إمداد الطاقة سيعود الصندوق سريعًا إلى حالة التوازن.

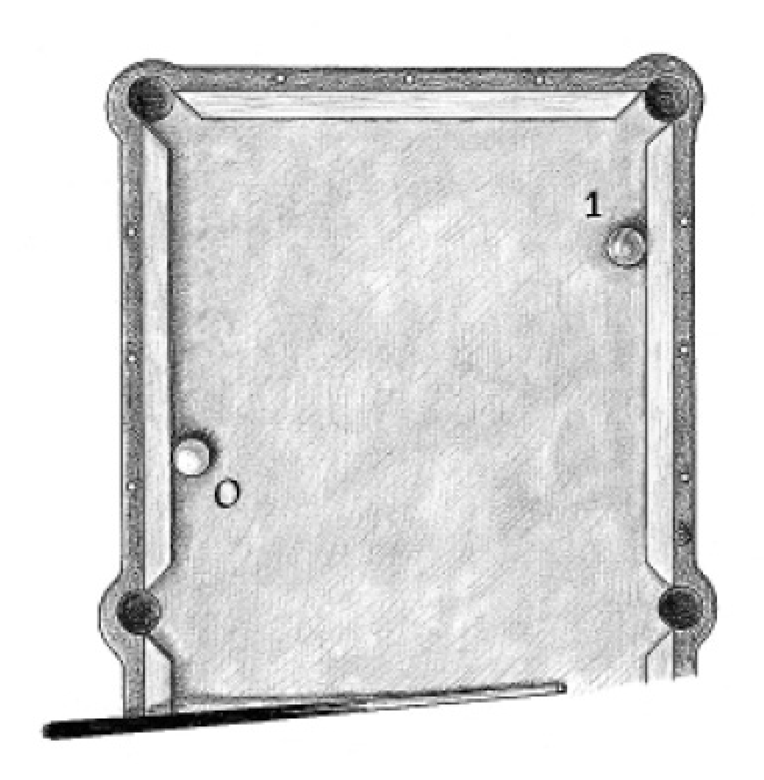
باستخدام لغة المعلومات بدلًا من لغة الديناميكا الحرارية فإن التبادل سيبدو مختلفًا. في البداية يكون الصندوق في حالة توازن، ويمكننا إضافة طاقة (مرّة أخرى بتشغيل المكيّف أو بتوظيف عفريت ماكسويل) لجمع ومعالجة المعلومات عن الجسيمات الموجودة بداخل الصندوق. تلك المعالجة ستغيّر من المعلومات المخزّنة داخل الصندوق. وبحسب بريّوين، فإن عفريت ماكسويل كان ينقل المعلومات إلى الصهريج فاصلًا الجسيمات الساخنة عن الباردة(********). مع ذلك وبمجرد أن تتوقّف إضافة الطاقة، فإن تلك المعلومات المخزّنة بالنسبة إلى الطبيعة ستتسرّب إلى البيئة، ويبدو أن محاولات تشتيت المعلومات المخزّنة هي نفسها المحاولات لزيادة الانتروبيا، فالفكرتان متماثلتان تمامًا.

يبدو الأمر واضحًا، مع أن الجميع لم يتّفقوا عليه في ذلك الوقت. فقد اعترض عدد من العلماء وفلاسفة العلم على حجة بريّوين وعلى الربط بين انتروبيا المعلومات وانتروبيا الديناميكا الحرارية. وجادلوا بأن التشابه بين معادلتي الانتروبيا في الحالتين كان عرضيا لكنّهما غير مرتبطتين، وحتّى اليوم ما زالت تلك الاعتراضات مستمرّة. في الحقيقة، وبمخطّطات ماهرة للقياس، يمكننا اعتباطيًّا تحديد «الذرّة» بإنتاج قليل من الانتروبيا واستهلاك قليل من الطاقة. ومع ذلك، فهناك حجة قوّية قد صاغت رابطة أكثر متانة بين الديناميكا الحرارية ونظرية المعلومات، ووضعت نهاية لعفريت ماكسويل.

جاء التبصر من جهة غير متوقّعة: من علم الكمبيوتر. فبالعودة إلى ثلاثينيّات القرن العشرين، أثبت ألان تيورنج، الذي سيصبح قريبًا مفكّكًا لشفرة انيجما، أن آلة بسيطة تستطيع أن تضع علامة على شريط من الورق أو تمحو علامة من عليه أو تديره، كان بمقدورها القيام بأيّ شيء يتخيّل أن يقوم به أيّ كمبيوتر (********). فإذا تصوّرت أنّ العلامة على الشريط الورقي هي 1 والجزء الممحوّ هو 0، فسيمكنك إعادة صياغة برهان تيورنج بطريقة أخرى: يمكنك القيام بأي شيء يقوم به الكمبيوتر كتخزين ومعالجة ومحو البتات. ولأن شانون أثبت أن البتات هي الوحدات الأساسية للمعلومات فإن معالجة المعلومات ليست شيئًا سوى معالجة البتات، وهو الشيء الذي صمّمت آلة تيورنج للقيام به. وبالعكس فإن الكمبيوتر ليس شيئا سوى آلة لمعالجة المعلومات، وبمعالجته للمعلومات أصبح موضوعًا للقوانين التي استنتجها شانون. إن تناول المعلومات ومعالجتها ونقلها كان مرتبطًا باستهلاك وإنتاج الطاقة والانتروبيا، وتناول الطاقة والانتروبيا كان الوظيفة الأساسية لآلات معالجة المعلومات، كآلة تيورنج أو الكمبيوتر أو العقل. كانت الأفكار مترابطة بقوّة، وبفهم العلاقة بين الانتروبيا والطاقة والمعلومات، قد نبدأ في فهم كيفية تفكير الكمبيوترات والبشر. لذا، في أعقاب اكتشافات شانون، شرع العلماء في تحديد كمّية الطاقة والانتروبيا التي يستهلكها أو ينتجها الكمبيوتر عندما يقوم بعملياته، كخطوة أولى لفهم كيف تعمل الكمبيوترات والعقول.

في عام 1961، جاء عالم الفيزياء رولف لاندور Rolf Landauer بإجابة مدهشة حول كمّية الطاقة التي يستخدمها الكمبيوتر (أو العقل) للقيام بعملية معالجة المعلومات (أو التفكير)، وانتهت إلى أنّه يمكنك إضافة بتات بدون استهلاك طاقة أو زيادة طاقة الكون، يمكنك مضاعفة البتات كما يمكنك إلغاؤها. لكنّ عمليه واحدة من الكمبيوتر ستولّد طاقة لتنتشر عندئذٍ في البيئة، وتزيد انتروبيا الكون. هذه العملية تمحو بتة، والمحو هو فعل في ذاكرة الكمبيوتر يكلّف طاقة.

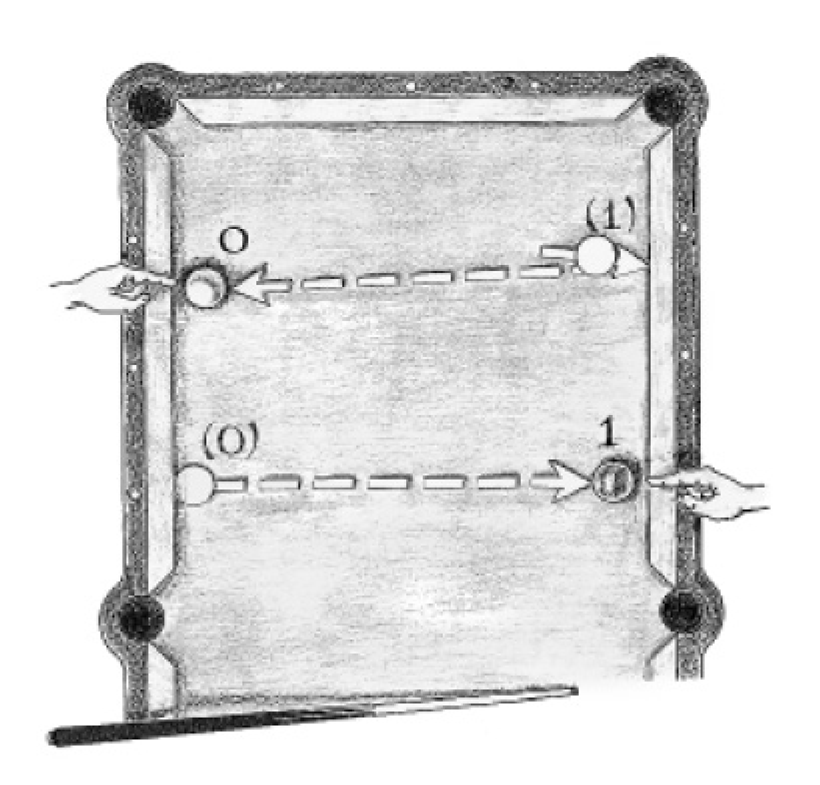
يبدو أن مبدأ لاندور، كما أصبح معروفًا، مضادّ للحسّ المشترك بالأحرى، لكنّه يأتي من الأسس الفيزيائية الراسخة. فبدلًا من رقيقة سليكون فلنستخدم منضدة بلياردو طولها متران على أنّها ذاكرة كمبيوتر. ستكون كرة البلياردو التي تزن نصف كيلو جرام بمثابة بتة، إذا كانت في الجانب الأيسر من المنضدة ستمثّل الكرة 0، وإذا كانت في الجانب الأيمن ستكون 1. يمكننا القيام بعملية بسيطة على تلك البتة في الذاكرة، القاعدة الوحيدة أنّ هناك صيغة واحدة للعملية وتلك الصيغة الواحدة لا بدّ أن تكون صالحة بصرف النظر عمّا إذا كانت الكرة على اليمين أو اليسار. ومجموعة التعليمات لا بدّ أن تكون متماثلة: لا يمكننا إعطاء الكرة 0 صيغة مختلفة لتتبعها أكثر ممّا يمكننا إعطاؤه للكرة 1.



موضع 1 و0 على منضدة البلياردو

وكمثال، لنأخذ العملية «إبطال»: إذا كانت الذاكرة 0 فلنغيّرها إلى 1، وإذا كانت 1 فلنغيّرها إلى 0. من السهل جدًّا أن نفعل ذلك بذاكرة منضدة البلياردو. تلك هي الصيغة: نعطي كرة البلياردو واحد جول من الطاقة لتتحرّك إلى اليمين بسرعة مترين في الثانية. بعد ثانية أخرى نوقف الكرة لاسترجاع هذا الجول من الطاقة. هذه مجموعة واحدة من التعليمات وهي صالحة لكرتي البلياردو كلتيهما.

إذا بدأت ذاكرتنا من 0، فكرة البلياردو في الجانب الأيسر فستتحرك إلى الجانب الأيمن بسرعة مترين في الثانية. وبالضبط بعد ثانية واحدة سترتطم بحافّة المنضدة. وعند تلك اللحظة تمامًا سنوقف الكرة لنزيل طاقتها، 0 ستصبح 1، من جهة أخرى إذا بدأت ذاكرتنا من 1، فستبدأ الكرة في الجانب الأيمن، متحرّكة لليمين بسرعة مترين في الثانية لكنّها سترتد من فورها عن حافّة المنضدة متحرّكة لليسار بسرعة مترين في الثانية. وبعد ثانية واحدة بالضبط عندما نزيل طاقتها ستكون قد عبرت المنضدة ولمست الحافّة اليسرى للمنضدة، 1 ستصبح 0. بهذا الشكل المثالي وبمنضدة نموذجية، لن يتمّ فقْد طاقة. في كلّتا الحالتين سنسترجع الجول الذي أعطيناه. لقد أبطلنا ذاكرتنا بدون استهلاك أو تبديد طاقة.

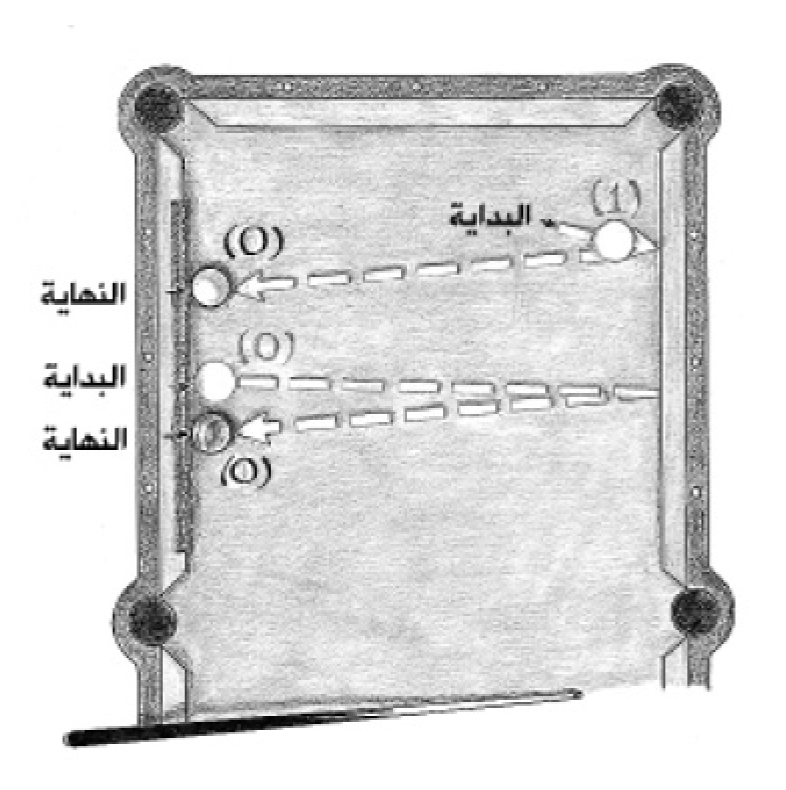


عكس 1 و0 على منضدة البلياردو (استعادة الطاقة يدويًّا)

الآن لنأتي بصيغة لمحو ذاكرة منضدتنا. لا يهمّ إذا بدأنا بـ 1 أو 0 مخزنة في الذاكرة. فنحن نريد أن ننتهي بـ 0، أن تستقرّ كرة البلياردو في الجانب الأيسر من المنضدة وهذا ليس سهلًا جدًّا. فلا يمكننا استخدام حيلة إبطال التأثير التي استخدمناها من قبل، فهي تعمل إذا بدأنا بالذاكرة 1، لكنّها تفشل إذا بدأنا بـ 0. وحيث إنه ليس مسموحًا لنا سوى كتابة مجموعة واحدة من التعليمات التي تطبّق على كلتا الكرتين، فلا يمكننا القول أبطل التأثير إذا كانت الكرة في الجانب الأيمن لكن لا تفعل شيئًا إذا كانت في الجانب الأيسر ـ بما يعني إعطاء تعليمات مختلفة لكلّ كرة.

لكن هناك طريقة للقيام بذلك بإعطاء أمر وحيد، علينا فقط القيام بتعديل طفيف في منضدة البلياردو. لنضع قطعة ناعمة مخملية لامتصاص الطاقة على الحافّة اليسرى. عندما ترتطم بها الكرة فالمخمل سيمتصّ كلّ الطاقة ويجعل الكرة تتوقّف. والآن فلنقم بخدعة إبطال التأثير كما في السابق، لكن لنترك الأمر الأخير لإعادة امتصاص الطاقة بعد ثانية واحدة، وكلّ ما علينا فعله هو إعطاء الكرة دفعة ومنحها واحد جول وجعلها تتدحرج إلى اليمين.

إذا بدأت الكرة في الجانب الأيمن، حيث الذاكرة 1، فسترتطم من فورها بالحافّة وتتدحرج إلى اليسار. وبعد ثانية واحدة ستصطدم بالقطعة المخملية على الحافّة اليسرى. مبدّدة طاقة الكرة وجاعلة إيّاها تتوقّف عند الحافّة اليسرى. بعد ثانيتين لم تتحرّك الكرة إنّها ما زالت 0. إن صيغتنا قد قلبت 1 إلى 0. لذا فنحن نعرف أنها تعمل عندما نبدأ بـ 1، ولكن ماذا إذا بدأنا بـ 0. بالكرة عند الحافّة اليسرى؟ حسنًا، الكرة على الجانب الأيسر ستبدأ بالتدحرج من فورها إلى الجانب الأيمن بسبب الطاقة التي أعطيناها لها. بعد ثانية، ستصطدم بالحافّة اليمنى، وسترتد متدحرجة إلى الحافّة اليسرى مرة أخرى. بعد ثانية، سترتطم بقطعة المخمل وستتبدّد الطاقة وستتوقّف في الجانب الأيسر. الـ 0 تتأرجح جيئة وذهابًا لكنّها تنتهي عند الـ 0 بعد ثانيتين، وتظلّ على هذا الحال. إن صيغتنا تعمل لكلّ من 1 و0، لكن هذا بثمن. إنه الطاقة.



محو 1 و0 من على منضدة البلياردو

باستخدام أمر الإبطال، نضع جول من الطاقة عند بداية الصيغة ونستردّ جول من الطاقة في النهاية، فلا تستهلك طاقة في تحويل 0 إلى 1 والعكس بالعكس. (صيغة الإبطال تعمل حتّى في حالة المنضدة المعدّلة بالمخمل، وسيمكننا استرداد الطاقة بالكاد قبيل ارتطام الكرة بقطعة المخمل، قبل أن يتمّ فقْد أي طاقة) لكن بأمر «المحو»، وبضبط كلّ شيء إلى 0، سيكون علينا ترك المخمل يوقف الكرة. فالمخمل يعمل كفرملة، إنه يأخذ جول من الطاقة من الكرة سواء بدأت على الجانب الأيسر أو الأيمن ويسرب هذا الجول إلى البيئة على شكل طاقة، وهذا ما تفعله الفرامل. ليس لدينا خيارٌ إلّا استخدام آلة مثل تلك. لا نستطيع أن نضع «الطاقة المستعادة» في مجموعة تعليماتنا للمحو. لأن استعادة تلك الطاقة ستجعلنا غير قادرين على جعل كلا الكرتين تنتهيان عند الحافّة اليسرى عند نهاية الصيغة. فقط بإضافة شريط المخمل، فقط بالكفّ عن استرداد الطاقة التي وضعناها، يمكننا تنفيذ أمر المحو الذي يكون صالحًا عندما تبدأ ذاكرتنا سواء بـ 0 أو بـ 1. محو الذاكرة يتسبّب في تدفّق الحرارة إلى البيئة، هذا هو مبدأ لاندور.

إنّ محو بتة من الذاكرة سيولّد حرارة تنتشر في البيئة. وبمجرد انتشار تلك الطاقة، فإنها تزيد من انتروبيا الكون بالضبط كما تنتشر كمية من الهيليوم خلال الوعاء. إنّ معالجة المعلومات هي عملية ديناميكا حرارية ـ والعكس بالعكس. ما زالت المشكلّة المحيّرة لمبدأ لاندور عميقة جدًّا، فكرة أن المحو يزيد من انتروبيا الكون، فإن ذلك المحو عملية غير عكسية. وإذا أخذت بتة في ذاكرة ومحوتها تاركًا الحرارة تنتشر فلن توجد طريقة لاستعادة تلك البتة. هذا مختلف عن عملية مثل إبطال التأثير، والتي يمكن عكسها بإبطال تأثير ثانٍ أو مثل الإضافة التي يمكن عكسها بالحذف. العمليات العكسية لاتزيد انتروبيا الكون وغير العكسية تفعل. إن سهم انتروبيا الزمن ينطبق على معاملة البتات كما ينطبق على حركة الذرّات. لا يمكنك عكس فيلمٍ لعملية غير عكسية ـ بشكل معلوماتي أو مادي ـ إذا تغيّرت انتروبيا الكون.

في العام 1982، قام العالم الفيزيائي شارلز بينيت Charles Bennett بشركة IBM بأخذ الخطوة الأخيرة التي ستتخلص من عفريت ماكسويل للأبد. فإذا وضعت عفريتًا داخل صندوق وأعطيته تعليمات بجعل جانب من الصندوق ساخنًا والآخر باردًا. سيكون على العفريت تقرير ما إذا كان عليه أن يفتح الصمام أو يغلقه، عليه أن يتّخذ قرارات ثنائية تساعده على إحراز هدف عكس الانتروبيا داخل الصندوق. في الواقع سيكون العفريت آلة معالجة المعلومات ـ كمبيوتر ـ مبرمجًا بالتعلميات التي أعطيتها له. ولأنّ آلة تيورنج تفعل ما يفعله أي كمبيوتر، فسيمكنك جعلها تعمل كعفريت. سيكون على آلة تيورنج قياس سرعة الذرّة بطريقة ما، كأن تكتب بتة على الشريط مسجّلة نتيجة هذا القياس، ثم تنفّذ البرنامج الذي يستخدم تلك البتة في ذاكرة ليقرّر ما إذا كان سيفتح الصمام أم لا. لكنّ عملية كتابة تلك البتة ستتطلّب ضمنيًّا محو موضع الذاكرة الذي ستكتب عليه للتخلص من بيانات القياس السابق. حتّى إذا كان لديك وفرة من الذاكرة ـ وبمقدروك الانتقال إلى جزء جديد وغير مستخدَم من الذاكرة لكلّ ذرّة جديدة ـ فسيكون عليك في وقت ما استنفاد الذاكرة إذا لم تحصل على كمّية لا نهائية منها. ولأن هناك عددًا نهائيًّا من الجسيمات في الكون فلن يكون لديك ذاكرة لا نهائية. العفريت سيستنفد الشريط في وقت ما وسيكون عليه حتمًا أن يمحو الذاكرة لإعداد الغرفة لقياسات جديدة. لوهلة، يستطيع العفريت تشغيل، وملء ذاكرته بالمعلومات، لكن بمجرد استنفاد الشريط، فإنه سينتج المزيد من الانتروبيا بإطلاق الحرارة في الكون، أكثر ممّا يذيلها بفصل الذرّات الساخنة عن الباردة في الصندوق. لقد أثبت بينيت أن على العفريت دائمًا أن

ينقص الانتروبيا في الوعاء بأية تكلفة، بتكلفة من الذاكرة ثم بتكلفة زيادة انتروبيا الكون. لا يوجد شيء بالمجان، لا توجد آلة الحركة الأبدية، لقد مات عفريت ماكسويل وعمره 111 عامًا.

في الحقيقة أن أعظم تناقض ظاهري في الديناميكا الحرارية هو التناقض الظاهري في تناول بتات المعلومات. لم يعمل شانون على حلّ تناقض عفريت ماكسويل أو حساب استهلاك آلة تيورنج للطاقة، لكنّ الصلات بين الديناميكا الحرارية والكمبيوترات والمعلومات كانت أقوى بكثير ممّا تخيّل شانون عندما خلق فرعًا من المعرفة هو نظرية المعلومات.

كان الأمر أعمق كثيرًا حتّى من أن يدركه بريّوين، الذي قدّم بصخب حجته بأن انتروبيا شانون وبولتزمان كانتا مترابطتين، كما كتب لاندور في العام 1996.

«المعلومات ليست كينونة تجريدية متحرّرة، إنّها دائمًا مرتبطة بتمثيل مادّي. فهي ممثّلة بنقش على قرص حجري، غزل، شحنة، ثقب في بطاقة مخرّمة، علامة على ورقة، أو أيّ شيء معادل آخر. هذا يقيد تناول المعلومات بكلّ احتمالات وقيود عالمنا المادّي الحقيقي. بقوانين فيزيائه ومستودع أجزائه المتاحة(********)».

لقد قامت قوانين المعلومات فعليًّا بحلّ تناقضات الديناميكا الحرارية، في الحقيقة فإن نظرية المعلومات قد استوعبت الديناميكا الحرارية. فالمشاكل في الديناميكا الحرارية يمكن حلّها بإدراك أن الدينامكيا الحرارية في الحقيقة، هي حالة خاصّة من نظرية المعلومات. وفي حين نرى أن المعلومات مادّية، فإنّ دراسة قوانين المعلومات ستمكننا من اكتشاف قوانين الكون. وكما أنّ كلّ أشكال المادّة والطاقة تعدّ موضوعًا لقوانين الديناميكا الحرارية. فإن كلّ المادّة والطاقة تعتبران موضوعًا لقوانين المعلومات. بما في ذلك نحن.

بالرغم من أن الكائنات الحية تبدو كما لو كانت مختلفة بشكل فطري عن الكمبيوترات وصناديق الغازات، إلّا أن قوانين المعلومات لا يزال ممكنًا تطبيقها. فنحن ـ الكائنات البشرية ـ نخزّن المعلومات في عقولنا وجيناتنا كما لو كنّا مجرّد كمبيوترات تخزّن المعلومات على أقراص صلبة، وفي الحقيقة، يبدو من الممكن رؤية الحياة على أنّها تكاثر المعلومات وحفظها بالرغم من محاولات الطبيعة لتشتيتها وتدميرها. إنّ نظرية المعلومات تكشف الإجابة عن السؤال الأزلي، ما الحياة؟ والإجابة مربكة فعلًا.

الفصل الرابع

الحياة

بدلًا من أن نسأل مَن أتى أولًا، الكتكوت أم البيضة، يبدو فجأة كما لو أنّ الكتكوت هو فكرة البيضة للحصول على مزيد من البيض.

ـ مارشال ماكلوهان، فهم الميديا

في عام 1943، في منتصف الحرب العالمية الثانية، قدّم عالم الفيزياء البارز، إرفين شرودنجر Erwin Schrodinger، سلسلة من المحاضرات في كلّية ترينتي Trinity college بدبلن Dublin. وقد اشتهر شرودنجر باشتقاق القوانين الأساسية لعالم الكمّ. ربّما تكون سمعت عن قطّة شرودنجر Schrodinger's cat، التي تبدو كتناقض ظاهري قائم على الاختلاف بين قوانين الكمّ للعالم تحت الذرّي وبين القوانين الكلاسيكية للعالم اليومي. إلّا أنّ محاضرات شرودنجر لم يكن موضوعها التكهن بميكانيكا الكمّ ولا سلوك المادّة النووية، وهو الموضوع الذي حظي فعلًا باهتمام عظيم من قبل علماء لوس آلاموس Los Alamos بنيو ميكسيكو New Mexico. لكن عالم الفيزياء شرودنجر كان يقدّم محاضراته عن موضوع بدا بعيدًا جدًّا عن ميكانيكا الكمّ التي صنعت شهرته. فقد تحدّث للإجابة عن السؤال الرئيسي في علم البيولوجيا: ما الحياة؟

ما الذي يجعل الجرذ أو البكتريا مختلفين عن الصخرة أو قطرة الماء؟ فبرغم قرون من المحاولات إلا أن الفلاسفة والعلماء قد فشلوا، مرّة تلو الأخرى، في المجيء بإجابة مقنعة. وقد حاول شرودنجر في محاضراته أن يعالج هذا السؤال لأنه رأى ارتباطًا عميقًا بين ما بدا أنهما مجالان غير مترابطين، نظرية الكمّ وفلسفة طبيعة الحياة. لم يكن المصطلح قد اخترع بعد ـ كانت نظرية شانون على مبعدة نصف عقد ـ لكن شرودنجر أحسّ أنّ ذلك الارتباط موجود فيما سيعرف لاحقًا بالمعلومات.

وبنظرة عالم فيزياء، لاحظ شرودنجر أن الكائن الحي يصارع دومًا ضدّ التحلّل. إنه يبقي على نظامه الداخلي بالرغم من تزايد انتروبية الكون. فبتناول الطعام وباستهلاك الطاقة التي تأتي في النهاية من الشمس، يستطيع الكائن الحي أن يحتفظ بنفسه بعيدًا عن التوازن: عن الموت. ولأن شرودنجر لم يستخدم العبارات التي يستخدمها واضعو نظرية المعلومات، حيث إنّه كان يتكلّم قبل ولادة نظرية المعلومات، إلّا انه على أية حال قد فسّر الحياة على أنّها رقصة رشيقة للطاقة والانتروبيا والمعلومات. لقد كان، كباقي علماء عصره، لا يعرف كينونة المعلومات ولا أين تكمن. لكنّه أحسّ أن الوظيفة الأساسية للكائنات الحية هي استهلاك المعلومات ومعالجتها وحفظها ونسخها.

وتعّد معلومات الحياة أكثر بكثير من المسئولية عن الوعي وعن المعلومات التي تتناولها عقولنا. فالمعلومات مسئولة عن كلّ حياة على الأرض. وقوانين المعلومات ترشد كلّ كائن حي، نزولًا حتّى أصغر بكتريا وإلى أصغر جزيء حي في العالم، فكلّ خلية في جسمنا معبّأة بالمعلومات. نحن نتناول الطعام ولذلك يمكننا معالجة هذه المعلومات. إن مجمل وجودنا متعلّق بنقل المعلومات من جيل إلى جيل، فنحن عبيد المعلومات التي بداخلنا.

إذا كان علينا فهم ماهية الحياة وكيف وجدت، فلا بدّ من فهم ما تقوله لنا تلك المعلومات. إذ تخبرنا نظرية شانون بطريقة قياس تلك المعلومات ومعالجتها – وما القوانين التي لا بدّ أن تتبعها هذه المعلومات عندما يتم تخزينها في الكائن الحي. لقد جعلت نظرية شانون للمعلومات السؤال عن الحياة سؤالًا يخصّ علماء الفيزياء، بقدر ما هو يخصّ علماء البيولوجيا والفلاسفة وعلماء اللاهوت.

عندما ألقى شرودنجر محاضرته في دبلن عام 1943، لم يكن يعرف العلماء الكثير عن الشفرة الوراثية. كان ذلك قبل عقد كامل من اكتشاف جيمس واطسون James Watson وفرانسيس كريك Francis Crick لتركيب الحمض النووي ثنائي الجديلة، DNA. لقد عرف علماء البيولوجيا أن الصفات الوراثية تمرّ من جيل إلى جيل، وعرفوا أن تلك الصفات مشفّرة بطريقة ما في وحدات عرفت بالجينات، وأن شيئًا ما داخل الخلية، نوعًا ما من الجزيئات، كان مسئولًا بطريقة ما عن تلك الجينات. كما عرف علماء البيولوجيا والفيزياء أين توجد تلك الجزيئات وكم هي كبيرة إلى حدٍّ ما.

واعتقد معظم علماء ذلك الوقت ـ بما فيهم شرودنجر ـ أن البروتينات هي الجزيئات المقصودة، فهي التي تحمل المعلومات الوراثية. وقد كانوا مخطئين، فعلماء البيولوجيا والفيزياء يعرفون الآن أن DNA (الحامض النووي) الجزيء الأكثر غموضًا هو الذي يحمل الشفرة الوراثية. إنه الجزيء الذي يهدف إلى تخزين المعلومات وحمايتها من التشتت ونسخها عندما تقتضي الحاجة لذلك. لقد كان كلام شرودنجر عن الرسالة وليس عن الوسيط وكان محقًّا في ذلك. وكما اضطر شرودنجر للتكلّم عن الشفرة الوراثية بمصطلحات النقطة والشرطة كما في شفرة موريس، فإنه يمكننا التكلّم عنها الآن بمصطلحات المعلومات.

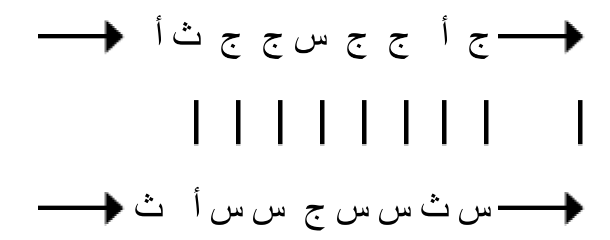
وبالرغم من أن شرودنجر كان مشوشًا بخصوص الجزيئات التي تقوم بتخزين المعلومات في خلايانا، ومع أنه لم يكن لديه لغة نظرية المعلومات التي يمكن صياغة كلامه بها، إلّا أن صميم رسالته المرتبكة تلك لا يزال صحيحًا. فبالنسبة له كانت هناك صعوبة في فهم البقاء المذهل والمرونة التي تتمتّع بها المعلومات المخزّنة في خلايانا. بالرغم من أنه يتم نسخها المرّة تلو الأخرى، وتنتقل من جيل إلى جيل، إلّا أنها لا تتغيّر إلّا بشكل طفيف جدًّا مع مرور الزمن. فالمعلومات يجري حفظها لتبقى بمأمن من التبديد.

هذه ليست هي الطريقة التي تسلكها الطبيعة دائمًا. فالانتروبيا تزداد بشكل طبيعي في نظام متروك وشأنه، والصندوق المملوء بالغاز سريعًا ما سيستقرّ في حالة توازن. وتميل المعلومات إلى التشتت، المعلومات المخزنة تنتشر عمليًّا خلال الكون. المعلومات تتسرّب، خصوصًا في الأنظمة الكبيرة والمعقدة والدافئة مثل الكائنات الحية. يبدأ تحلّل الكائن الحي على الفور بمجرد موته، يتساقط اللحم وكذا الجزيئات المكوّنة لهذا اللحم. وهكذا فإن الشفرة الوراثية للكائن الحي ستذروها الرياح بمرور الوقت. وبطريقة ما، ولكونها حية فإن هذا يتيح لها أن تحافظ على معلوماتها، وتبدو غير مكترثة بالانتروبيا لوقت قصير. لكن بمجرد موت الكائن الحي، فإنها تفقد تلك القابلية للأبد، وتفوز الانتروبيا بمجرد أن تتبعثر معلومات الكائن الحي.

العلماء الآن يعرفون أكثر ممّا كان يعرف شرودنجر. في عام 1953، أوضح واطسون وكريك أنّ شفرتنا الوراثية موضوعة على جزيء DNA المكوّن من خيطين طويلين مرنين ومجدولين. وأهم

جزء في هذا الجزيء، فيما يتعلّق بالمعلومات، هو حيث يترابط الخيطين في المنتصف، فهنا يحمل كلّ خيط رسالته. تلك الرسالة ليست مكتوبة بالشفرة الثنائية، فهي ليست شفرة أصفار وآحاد ولا شفرة صواب وخطأ. إنها شفرة رباعية، شفرة لها أربعة رموز. كلّ رمز مكوّن من واحد من أربع موادّ كيميائية أو قواعد (أ) ادنين adenine، (ث) ثيمين thymine، (س) سيتوسين cytosine، (ج) جوانين guanine. وإذا كنت كائنًا حيًّا في حجم جزيء وقمت بالنزول هبوطًا على خيط DNA، سترى تتابعًا لتلك القواعد بترتيب محدّد جدًّا مرتبطًا بهذا الخيط لنقل: أ ث ج ج س ج ج أ ج، قاعدة ملاصقة لقاعدة، وستتمكّن من رؤية الخيط الآخر عكس الأول ومساويًا له.

فالادنين والثيمين قاعدتان متكاملتان ويرتبط كلّ منهما بالآخر. السيتوسين والجوانين أيضًا متكاملان ويرتبط كلّ منهما بالآخر. الخيط الآخر، الذي هو في الحقيقة، يسير في الاتجاه المعاكس للخيط الأول، يستبدل كلّ قاعدة على الخيط الأول بالقاعدة المكمّلة لها. لذا ففي مثالنا سيكون ترتيب الخيط المكمل س ث س س ج س س أ ث، والتي ترتبط جيّدًا بالترتيب ج أ ج ج س ج ج ث أ.



خيط DNA المزدوج

وحيث يمكن فصل كلا الخيطين بعضهما عن بعض، فإن جزيء DNA له نسختان فعليًّا من المعلومات نفسها، المعلومات هي الكلمة الصحيحة للاستخدام، لأن DNA يقوم في الحقيقة بتخزين المعلومات وفقًا لمفهوم شانون. تنطبق نظرية شانون على أي خيط من الرموز، وكأي رموز فإن شفرة DNA الرباعية يمكن اختزالها إلى خيط من البتات، من أصفار وآحاد ـ بتتَين لكلّ قاعدة. (على سبيل المثال، يمكننا تمثيل أ، ث، س، ج بالرموز 00، 11، 10، 01 على التوالي). ومهما بلغت أهميته للحياة، فإن DNA، من وجهة نظر واضعي نظرية المعلومات، لا يختلف عن أي وسيط يمكنه تخزين المعلومات. فإذا استطعت فهم كيفية معالجة المعلومات على خيط DNA فسيمكنك استخدامه كما لو كان «شريطًا» في آلة تيورنج، وإذا كانت لديك الإمكانية للقراءة والكتابة على خيط DNA فسيمكنك تحويله إلى كمبيوتر. في الحقيقة تم ذلك عدّة مرات.

على سبيل المثال، في عام 2000، قامت عالمة الأحياء لورا لاندفيبر Laura Landweber في برينستون Princeton، بتخليق «كمبيوتر DNA» الذي حل أشهر ألغاز علم الكمبيوتر المعروف بمشكلّة حصان الشطرنج knight problem. فمع لوحة شطرنج بحجم معين ـ في حالة لاندفيبر ثلاثة مربعات في ثلاث مربعات ـ يكون السؤال عن كلّ الطرق المحتملة التي يمكن وضع الأحصنة بها (التي تتحرّك على شكل L) على اللوحة بحيث لا تستطيع أن تهاجم بعضها بعضًا؟

استغلت لاندفيبر عددًا من الأدوات التي ابتدعها علماء البيولوجيا على مرّ السنين لمعالجة DNA وجزيء RNA (الحامض النووي الريبوزي) المرتبط به والمحتوي على المعلومات، لقد طوّر

العلماء عمليات ـ باستخدام إنزيمات وموادّ كيميائية ـ لقراءة الشفرة المدرجة على جزيئات DNA، ولكتابة أية مجموعة من الرموز المرغوب فيها على أحد خيوطه، ولنسخ المعلومات عدّة مرات. لقد امتلكوا أيضًا القدرة على فسخ وتدمير الجزيئات التي تحتوي تسلسلًا غير مرغوب فيه من تلك الرموز. وهذه هي كلّ العمليات التي تعالج المعلومات. في الحقيقة، هذه العمليات تكفي لتخليق كمبيوتر بدائي من DNA.

قامت لاندفيبر بذلك عن طريق أسلوب القوّة الغاشمة brute force. فقامت أولًا، بتصنيع ثمانية عشر امتدادًا من DNA، كلّ منها مكوّن من خمسة عشر زوجًا من القواعد. وكلّ امتداد يمثل بتة لمسافة محدّدة ـ «حصان» أو «فراغ»، 1 أو 0، لكلّ من المربعات التسع على رقعة الشطرنج. (على سبيل المثال فإن الامتداد س ث س ث ث أ س ث س أ أ ث ث س ث معناه أن المربع الأعلى إلى اليسار «فارغ») ثم قامت بعد ذلك بتخليق «مكتبة» من ملايين خيوط DNA تمثل كلّ التشكيلات المحتملة على الرقعة. وهكذا، تمت كلّ التباديل المحتملة لمربعات بأحصنة ومربعات فارغة. بعد ذلك قامت لاندفيبر بالاستبعاد المنهجي للتباديل التي يمكن أن يهاجم فيها حصان حصانًا آخر، وقامت بتشذيب الجزيئات التي لا تتضمّن أحد الحلول المرغوبة باستخدام إنزيمات الفسخ(********).

كانت هذه العملية مكافئة لسلسلة من العمليات المنطقية التي يجريها الكمبيوتر. فبعد أخذ الشتلات DNA اللزجة وكتابة المعلومات عليها ومعالجة المعلومات على الجزيئات بمثل تلك الطريقة التي ينفذ بها DNA برنامجًا منطقيًّا، كان لدى لاندفيبر وعاءٌ من خيوط DNA التي تضمّنت حلولًا لمشكلة الحصان، بالضبط كما احتوى الكمبيوتر الذي نفذ المنطق الإجابةَ ضمن بنك ذاكرته. وعندما استخرجت وفكّكت شفرة رموز تلك الثلاثة وأربعين خيطًا ـ ما يعادل الطلب من الكمبيوتر أن يطبع محتوى بنك ذاكرته ـ اكتشفت أن اثنين وأربعين قد احتوت حلولًا صحيحة للمشكلة. (واحد احتوى إجابة خطأ: طفرة mutation) لقد نفذت لاندفيبر لوغاريتم الكمبيوتر على خيوط DNA.

بمعايير الطبيعة، برغم أن، طرق لاندفيبر كانت بسيطة وغير متقنة، وكان متاحًا لها عدد قليل فقط من الطرق التي تمكنها من معالجة المعلومات على DNA. فقد استطاعت أن تجبر الجزيئات، التي تحتوي المعلومات، على التكاثر، واستطاعت أن تفسخها إلى اثنين وأن تدمرهما، واستطاعت كتابة شفرة معيّنة على خيط DNA بالخربشة. لكنّها لم تستطع عمل الوظائف الأولية الأخرى التي كانت آلة تيورنج قادرة على إنجازها. فبينما كانت قادرة مثلًا على بناء الشفرة بالخربشة، لم تستطع بمجرد كتابتها أن تقوم بعمل تحرير لها ـ لم تكن قادرة على نزع، فلنقل، (س) من الخيط وإبداله بـ (أ). لم تستطع تصحيح الأخطاء المعلوماتية ـ الطفرات ـ التي حدثت أثناء العملية.

للطبيعة أدواتها لعمل كلّ هذه الأشياء. إنها الإنزيمات Enzymes ـ بروتينات داخل الخلية ـ هي التي تراقب باستمرار جزيئات DNA، فتبحث عن الطفرات وتقوم بتصحيحها. كلّ خلية في جسمنا موطن الآلاف من تلك البروتينات التي تعالج المعلومات في DNA الخاصّ بنا، وتنسخه وتكتب عليه وتقرؤه وتصحّحه وتقوم بنقله إلى وسط آخر وتقوم بتنفيذ التعليمات المكتوبة عليه. والتعليمات الخاصّة بتصنيع تلك البروتينات مشفرة وتنظيمها كذلك على DNA. بمعنى ما، في قلب كلّ خلية من خلايانا يوجد كمبيوتر يتلو التعليمات المتضمّنة في جزيء DNA. إلا أنه، إذا كان هناك كمبيوتر يتكتك في كلّ خلايانا، ويعمل وفقًا لبرنامج مخزّن في DNA الخاصّ بنا، فما الذي يفعله هذا البرنامج؟

هناك مجهود ضخم لتفكيك الشفرة الوراثية لكلّ أنواع الكائنات الحية. لاستخراج تفاصيل برامج هذه الكمبيوترات. لكن حتّى بدون معرفة التفاصيل الدقيقة لكلّ هذه البرامج، فإن العديد من علماء البيولوجيا التطوريين يتوقّعون فعلًا قيام كلّ هذه البرامج بعمل الشيء نفسه بدقّة. إنها تقوم بتنفيذ أمر بسيط واحد. إعادة إنتاج المعلومات الخاصة بك ونسخها.

بالتأكيد، تقوم البرامج بتلك المهمة بطرق مختلفة جدًّا، لكن الهدف واحد دائمًا، التكاثر. وأي شيء آخر هو زخرفة ـ الزخرفة التي تساعد البرنامج على إحراز هدفه النهائي. فالأجسام ـ الأيدي والأذرع والرؤوس والأدمغة والعيون والأنياب والأجنحة والأوراق والأهداب ـ هي مجرّد عبوات للمعلومات المتضمّنة في جينات الكائن الحي، عبوات تجعل الأكثر احتمالًا أن تلك المعلومات المتضمّنة في العبوات ستجد الفرصة لنسخ نفسها.

هذه الطريقة بالغة الاختزال في النظر إلى الكائنات الحية، قد تختلف عمّا تعلمته في فصل البيولوجيا، إذ يتمّ تصوير التطور على أنه محاولة الأفراد للتكاثر ـ بحيث تبقى الكائنات الأكفأ، ووظيفة الجينات هي أن تجعل كائناتها الحية أكفأ. لا ينظر كلّ العلماء إلى الجينات بهذه الطريقة بالضبط، لكن العديد من علماء البيولوجيا يجادلون بأن جينات الكائن الحي، المعلومات التي في خلاياه، لا «تحاول» فقط صناعة كائن أكفأ: إنها ببساطة تحاول أن تنسخ نفسها.

إنها نقطة بارعة. ليس الفرد هو المدفوع لأن يتكاثر، إنها المعلومات داخل الفرد. المعلومات التي بداخل الفرد ذاتها لها هدف أن تتكاثر. بينما جسم الكائن الحي نتيجة جانبية لذلك، فهو أداة الوصول لهذا الهدف، إنه مجرّد مركبة تحمل المعلومات هنا وهناك، تؤويها وتساعد على تكاثرها. وكون الكائن الحي يتكاثر هو مجرّد نتيجة ثانوية لقيام المعلومات بنسخ نفسها.... أحيانا.

إن معلومات الكائن الحي يمكنها أحيانًا أن تتكاثر بذاتها دون أن يتكاثر الكائن الحي الذي يحملها، خذ النمل على سبيل المثال. ففي مستعمرة مثالية للنمل، هناك كائن واحد فقط مُخصَب ـ الملكة. وهي فقط التي تتكاثر، هي فقط التي تضع البيض. كلّ الآلاف المؤلّفة من النمل الموجود في المستعمرة عقيمة وغير قادرة على التكاثر (تقريبا). إلا أن تلك النملات العقيمة ترعى بيضات الملكة وتربيه حتّى مرحلة البلوغ، وبرغم أنها ليست أمهات البيض، فإنها تهتم ببيض الملكة المعدّ للفقس.

لا يوجد تقريبًا أي من كائنات تلك المزرعة ينتج صغارًا أبدًا. فهي تتخلّى مرغمة كلّيا عن قابليتها للتكاثر من أجل تربية صغار فرد آخر. إلا أن المعلومات المنقوشة على جيناتها تعطيها التعليمات لطاعة الملكة ومصادرة آمالها في التكاثر. فإذا كان الفرد هو المسيطر في الحقيقة، وكان هو من يحاول أن يتكاثر، فإن تلك الاستراتيجية ليس لها معنى هنا. ولكن إذا كانت المعلومات داخل الكائن الحي هي المسيطرة وهي الجوهر الذي يحاول أن يتكاثر، فإن سلوك النمل العقيم سيبدو معقولًا.

إذا كنت أنت نملة عاملة في المستعمرة، وكانت هذه الملكة أمك وكانت جيناتها تحتوي كلّ مادتك الوراثية غالبًا ـ التي تتضمّن جين «امتثل للملكة»(********). فإن كلّ بيضها المعدّ للفقس ـ إخوتك ـ سيمتلك أيضًا جين «امتثل للملكة» في DNA الخاصّ بها. لذا، فباتباع التعليمات التي في البرنامج، بالامتثال للملكة، وبرعاية البيض المعدّ للفقس، ستساعد النملات العقيمة على ازدهار جين «امتثل للملكة». من وجهة نظر فردية، يفشل الفرد في التكاثر، لكن من وجهة نظر جين «امتثل للملكة» فإن الجين قد نجح: لقد حقّق إعادة إنتاج نفسه، حتّى لو كان أغلب الأفراد الذين

يحملونه لا يستطيعون ذلك. لذا، فإن العقم يكون له معنى جيّد بالنسبة للمعلومات في جينات النمل، حتّى لو لم يكن له معنى لكلّ نملة مفردة.

هذا مثال عن كيف أن التأثيرات التي تمتلكها الجينات على الكائن الحي ليس مقصودًا بها أن يكون الكائن الحي أكثر كفاءة. فالنملة العقيمة أقل كفاءة، بمعنى دارويني من نملة ليست كذلك. ومع ذلك، فالجينات غالبًا ما يكون لها مثل هذا التأثير. جينات السم والأنياب، يحتمل أن تساعد الأفعى ذات الجرس على تمرير جينات السم والأنياب. وبامتلاكها الأثر المفيد على الكائنات العائلة لها فإن تلك الجينات تزيد من أرجحية أن الكائن العائل ـ والمعلومات التي يحتويها ـ سيتكاثر. لكن ليست كلّ الجينات ذات تأثير مفيد للكائن العائل لها. فبعض الجينات ضارة بكلّ ما في الكلمة من معنى ـ أكثر ضررًا حتّى من العقم ـ إلا أنها، مثل الجينات الأخرى، تحاول أن تضاعف نفسها.

هناك جين يظهر أحيانا في الفئران يعرف بالجين t ليس له أي تأثير مفيد، وغالبًا ما يكون مميتًا في الحقيقة. إذا حدث أن حمل الفأر نسختين من الجين t في برمجته الجينية، فإنه يموت ويصبح غير قادر على التكاثر. أما إذا حمل نسخة واحدة من الجين t فلا شيء يحدث. حسنًا، ليس هكذا بالضبط.

فالجين t له صفة مميّزة، هو بارع في تكرار نفسه. وبشكل ما، أثناء انقسامات الخلية التي تنتج الحيوانات المنوية، يندفع الجين t إلى الخطّ الأمامي جاعلًا نفسه موجودًا في كلّ الحيوانات المنوية للفأر تقريبًا. جينات الفأر العادية تميل للتواجد في 50% من الحيوانات المنوية للفأر. لكن الجين t يعمل على أن يتواجد في 95% من الحيوانات المنوية. فالجين t عبارة عن كتلة من المعلومات البارعة في إعادة إنتاج نفسها، وهو يفعل ذلك بغزارة.

إذا خلقت الطفرة جين t في فأر ذكر، فإن الجين t سيكرر نفسه المرّة تلو الأخرى طالما أن الفأر وذريّته يتكاثرون. وسيتواجد في نهاية المطاف في أطفال الفأر وأطفال أطفاله وأطفال أطفال أطفاله. سيتفشّى الجين t خلال عائلة الفأر ثم في كلّ تعداد الفئران. لكن أثناء تنفيذ الجين t لبرنامجه المرّة تلو الأخرى، سيبدأ في تدمير تعداد الفئران الذي يحمل معلوماته. وسريعًا ما سيصبح الجين موجودًا بشكل كلّي في مجموعة الفئران. لذا فبعد عدة أجيال قليلة من المحتمل أن يحمل أبوان من الفئران الجين. بما يعني أنه من الوارد جدًّا أن نسلهما سيكون لديه نسختان من الجين ويموت. ووفقًا لعالم البيولوجيا ريتشارد داوكينز Richard Dawkins، هناك دليل على أن الجين t يتسبّب في أن تعداد الفئران آخذ في الانقراض(********).

كلّ ما يهتم به الجين t هو تكرار نفسه، حتّى لو كان تنفيذ برنامجه «كرر نفسك» ضارًّا بالكائن الذي يحمل تلك المعلومات. وعلى المدى الطويل، فإن الجين t سيمحو تعداد الفئران ـ ونفسه ـ لكن هذا الجين غير قادر على وقف تشغيل البرنامج أو تلطيف نزعته المتطرّفة لأن يتكاثر ويتكاثر ويتكاثر. في الحقيقة الجين t «أناني»، إنه ينسخ نفسه بالرغم من الخطر الفادح الذي يسببه للكائن العائل له.

وبمعنى ما، فإن الجينات تتعارك باستمرار فيما بينها، كمحاولة لجعل نفسها متكاثرة. لكن تلك المعركة مركّبة، فغالبًا ما تكون نتيجة التعاون أفضل من نتيجة المنافسة. والعديد من الجينات تتبنى «استراتيجية» للتعاون فيما بينها. فجينات الأنياب والسم تميل لأن تكون مصحوبة بالجينات التي تسمح للكائن بهضم حيوان آخر، فمن النادر أن ترى حيوانًا عشبيًّا مسلّحًا بسلاح كريه مثل عضّة

السم. ومع أن معلومات الأنياب ومعلومات هضم الكائنات اللاحمة لا يدرك كلّ منهما وجود الآخر، فإنهما يعززان فرصة كلّ منهما في التكاثر إذا وُجدا معًا. ومن ثم، فإن الجينين «يتعاون» كلّ منهما مع الآخر. (الجينات كائنات غير واعية بالطبع، لذا فهي لا تستطيع واقعيًّا أن «تتعاون» أو «تتصارع» أو «تقصد». لكن بما أن لتلك البرامج «هدفًا» رديء النوع ـ التكاثر ـ ووسائل متعدّدة مختلفة لتحقيق هدف البرنامج ـ بمنح الكائن العائل أنيابًا سامّة أو التأكيد من انتقالها إلى الحيوان المنوي ـ فإن التجسيم البشري anthropomorphizing للجين هو الطريق المختصر لوصف أنواع تفاعلات الجينات المختلفة بعضها مع بعض أثناء تنفيذ برامجها).

لكن ليست كلّ الجينات متعاونة، فالجين t على سبيل المثال، يقلّل من حيوية الكائن العائل، الفأر، ويقلّل بالتالي من فرص كلّ جينات الفأر في التكاثر. وتوجد داخل كلّ كائن حي معركة معقدة بين الجينات حيث يحاول كلّ واحد منها أن يتكاثر. من وجهة نظر الجين فإن الكائن الحي مجرد أداة لجعل الجين يحقّق هدفه. في الواقع، بالنسبة للمعلومات التي بداخلنا ربّما يجرى التخلّص من تلك الأداة، وفعليًّا يتنازل عدد من الجينات عن أداته الأصلية لصالح أداة أخرى، تكون أكثر ملاءمة. والعديد من جينات المخلوقات المعاصرة هي مسافرة عابرة hitchhikers وحسب، حيث التقطتها تلك المخلوقات على طول طريق التطور.

يكمن في أحد كروموسوماتنا ـ واحد من الثلاثة وعشرين زوجًا من المعلومات الوراثية المعبأة في أنوية خلايانا ـ تسلسل لشفرة وراثية زرعت مباشرة بواسطة مثل هذا السفر العابر. وفي الماضي السحيق، أُصِبنا بهذا المسافر العابر الذي شق طريقه إلى خلايانا، حيث قام بقص شفرتنا الوراثية لإدخال تعليماته الخاصة. وفي العام 1999، اكتشف علماء البيولوجيا بقايا آثار هذه العدوى السحيقة. لقد كانت شفرة غريبة ـ مجموعة تعليمات لفيروس أحفوري virus fossil كامل ـ قد أرغمت أجسامنا على إنتاج البروتينات التي يرغب بها الفيروس، غير تلك التي تحتاجها خلايانا نفسها.

في الحقيقة، المعلومات في كلّ خلية من خلايانا مثقوبة مثل الغربال بجينات مسافرة عابرة أحفورية. فأجسامنا تنتج فيروسات HERV، لأن شفرتها قد أدخلت إلى الجينوم genome الخاصّ بنا وليس بسبب أي تأثير مفيد لنا. لقد تدبّرت جينات الفيروس منذ آلاف السنين لنفسها طريقًا مجانيًّا، فبتكاثر الإنسان تتكاثر جينات الفيروس كذلك. فالكائن البشري هو آداة فقط لهذا الغزو الفيروسي ولا نحصل على أي فائدة ظاهرة من هذا المسافر العابر، وهناك بعض الدلائل التي تشير إلى أنه قد يتسبّب في الضرر لنا.

لحسن الحظّ، بعض هؤلاء المسافرين العابرين له أثر مفيد، فنحن مدينون بوجودنا عالي الطاقة إلى مسافر عابر قديم. إن كلّ خلية من خلايانا ـ في الواقع كلّ خلية حيوانية أو نباتية ـ لها عدد من مصانع الطاقة بداخلها، أشكال صغيرة تعرف بالميتوكوندريا mitochondria، لا يمكننا العيش بدونها. فالميتوكوندريا مسئولة غالبًا عن استخلاص كلّ الطاقة التي تحتاجها خلايانا من المواد الكيميائية وتحويلها إلى شكل قابل للاستخدام. وهناك دليل معقول على أن تلك الميتوكوندريا هي في الواقع بكتريا مسافرة عابرة قامت بحقن نفسها بشكل ما في أحد أسلافنا من الكائنات الحية أحادية الخلية منذ مليارات السنين. ولسبب ما، قامت الميتوكوندريا بفصل مجموعة DNA تمامًا من المادّة المخزنة في مركز خلايانا، ولأنها تحمل مجموعة تعليمات مختلفة كلّيًّا عن تلك التي في نواة الخلية(********). فإن كلّ خلية في جسمنا ـ خلايا الجلد، الخلايا العصبية، الخلايا الكبدية،

خلايا الكلى - مخلوقة ثنائية وفصامية بسبب الميتوكوندريا التي بداخلها. فكلّ مرّة تنقسم فيها الخلية يسري ذلك على DNA الخاصّ بالميتوكوندريا كما يسري على DNA الخاصّ بالخلية أيضًا. ويأخذ DNA الميتوكوندريا مساره طيلة الرحلة.

الكائنات الأصلية التي أعطتنا قصاصات المعلومات تلك وحقنتها في خلايا أسلافنا - الفيروس المسئول عن جين HERV والكائن شبيه البكتيريا المسئول عن DNA الميتوكوندريا الخاصّة بنا - هي كائنات منقرضة بحسب ما يعرف العلماء، إلا أن المعلومات التي كانت تحملها لا تزال معنا. فالمعلومات لديها وسائل انتقال، وعندما يموت الكائن الأصلي، تبقى المعلومات.

ربّما يؤدّي هذا إلى الحجّة الأقوى، أن المعلومات في جيناتنا - وليس الكائن الذي يحمي تلك المعلومات - هي العنصر الأساسي الذي يتكاثر ويحيا في لعبة الحياة، وهذه الحجّة هي الخلود. فالمعلومات في خلايانا خالدة بالأساس، حتّى لو كانت كلّ خلية من خلايانا - حتّى تلك التي لم تُولد بعد - سوف تموت في أقل من مائة عام، فإن معظم المعلومات في جيناتنا عمرها مليارات السنين، وقد جاءت إلينا من الكائنات الطافية فوق الرواسب البدائية التي كانت تغطي الأرض التي كانت لا تزال ناشئة حينئذٍ. المعلومات لا يمكنها أن تعيش إذا مات الشخص الذي تسكن فيه وحسب، بل إنها تعيش أيضًا حتّى لو انقرض الكائن المعيل لها. ربّما كان هذا هو الجواب على السؤال الأبدي، لماذا يجب علينا «نحن» أن نموت؟ نحن لا نموت، نحن خالدون. الخدعة أن «نحن» في السؤال ليست أجسادنا أو عقولنا، لكن بتات المعلومات التي تسكن في جيناتنا.

مع أن طريق هذه الحجّة يبدو الأقرب للإجابة على سؤال، ما الحياة؟ إلا أنّه لا يخاطب حيرة شرودنجر. فالانتروبيا تعمل على تحلّل الأداة التي تخزن المعلومات الكلاسيكية: البنية الصلبة للكمبيوتر تفسد والكتب تصير باهتة، حتّى النقش على الصخور يذوي بعوامل التعرية. الطبيعة تحاول أن تأخذ المعلومات وتقوم بنشرها خلال الكون، جاعلة إياها صعبة المنال وعديمة الفائدة. إلا أن المعلومات في جيناتنا قادرة على مقاومة تخريب الزمن والانتروبيا، وقادرة على مقاومة سهم الزمن. وهذا ما أذهل شرودنجر بشدّة وجعله يتساءل عن طبيعة الحياة. فالخلود يتطلّب الحماية ضدّ الانتروبيا، إلا أن قوانين الديناميكا الحرارية تقول إن الانتروبيا عنيدة، لذا كيف وجدت الحياة أساسًا؟

على المستوى الفيزيائي الخالص، فإن الأمر ليس محيرًا تمامًا. فبالضبط كما يمكن للثلاجة أن تستخدم الموتور لكي تعكس الانتروبيا - موضعيًّا - بالحفاظ على داخلها أبرد من الغرفة الموجودة فيها، فإن الخلية لديها آلات حيوية تستخدمها في عكس الانتروبيا - موضعيا - بالحفاظ على المعلومات متماسكة داخل الخلايا.

هناك آلاف الإنزيمات في كلّ خلية، تقوم بمعالجة المعلومات الموجودة في قلب هذه الخلية. فهناك ناسخون ومحررون ومتحقّقون من وجود أخطاء ومؤدّون للوظائف التي يتوقّع أن يؤدّيَها كمبيوتر مثالي. في الحقيقة، بناء DNA الحلزوني المزدوج يعتبر وسطًا بارعًا ومستقرًّا لتخزين المعلومات حيث إن هناك نسختين من المعلومات، نسخة على كلّ جديلة. ويمكن التقاط معظم الأخطاء بمقارنة كلا الجديلتين معًا، وإذا كان هناك عدم توافق فلا بدّ من أن يكون هناك خطأ ما. إذ ربّما تستبدل القاعدة (أ) بالقاعدة (س) بشكل عرضي، أو ربّما يحدث ازدواج في أيّ من القاعدتين عن طريق الخطأ. إن الإنزيمات في خلايانا، الماكينات الجزيئية الصغيرة، تعمل على تمشيط جدّائل DNA

بحثًا عن وجود عدم توافق أو أي خطأ آخر. وعندما تجد أحدها تقوم بقص القطعة المعطوبة واستبدالها(********).

إنّ مجسّات الطبيعة العشوائية، مثل وثوب جزيئات ضالّة فجأة عن الحلزون المزدوج أو تعرضّها لإشعاع أنواع مختلفة من الفوتونات، تميل إلى التسبب في تشتيت المعلومات من DNA. وهذه الأحداث ستنزع الإلكترونات والذرّات من DNA، مسبّبة انحناءات وانثناءات وعدم توافق ومحدثة أنواعًا أخرى من التخريب. ومع ذلك، فآلية التحقّق من الأخطاء في خلايانا قابلة للحفاظ على المعلومات سليمة بدرجة كبيرة، لكن بثمن، وهذا الثمن هو الطاقة.

فكما أن الثلاجة تحتاج طاقة لتلافي تأثيرات الانتروبيا ـ للحفاظ على جزء من الغرفة باردًا وجزءًا منها ساخنًا ـ فإن المواتير الجزيئية تحتاج عند نقطة ما، لاستهلاك الطاقة لكي تعمل. على سبيل المثال، فإن إنزيمًا واحدًا كالذي يكتشف نتوءًا على جديلة DNA، بسبب وجود قاعدتين متجاورتين من الثايمين ترتبط إحداهما بالأخرى بدلًا من الأدنين على الجديلة المكملة، هذا الإنزيم ينشط بامتصاص فوتون من الأشعّة فوق البنفسجية. الإنزيمات الأخرى تستهلك الطاقة بطرق مختلفة، فإنتاج وبقاء وعمل تلك الآلات الجزيئية يتطلّب طاقة، لأنّها تبذل شغلا. إنها تحفظ المعلومات داخل خلايانا بمأمن من تخريب الانتروبيا، تمامًا كما تحفظ الثلاجات البرودة داخلها بالرغم من محاولات الطبيعة لإعادتها إلى درجة حرارة الغرفة. فخلايانا هي آلات حفظ المعلومات وبقائها، وهي تؤدّي ذلك بروعة. وتبقي معلوماتنا الجينية فعليًّا بدون اضطراب بعد أجيال وأجيال من النسخ.

في عام 1997، حصل العلماء على مثال تخطيطي لبيان مدى روعة آلات حفظ المعلومات الخاصّة بنا. إذ قامت مجموعة من علماء البيولوجيا بتحليل DNA الخاصّ بميتوكوندريا من هيكل عظمي عمره تسعة آلاف سنة خاصّ برجل من شيدار Cheddar في إنجلترا. حيث استخلصوا المعلومات الوراثية من أحد الضروس وقاموا بتحليل بعض خيوط DNA المتماسكة بعض الشيء. (فعندما يموت الكائن، تتفسّخ المعلومات بداخله بفعل تأثير الانتروبيا المخرّب، لكن لحسن الحظّ يبقى لبّ مركز الضرس متماسكًا بدرجة تكفي لأخذ عينات DNA). وقد قام علماء البيولوجيا بتحليل جزيء DNA من الميتوكوندريا الذي بدا أنه لا يحتوى على أية شفرة هامة، فقد كان عرضة للطفرات مقارنة بالاجزاء الأكثر أهمية في الجينوم. (وهذا هو الموضوع في حالة الطفرة التي لا تقتل الكائن العائل، لذلك فوجود خطأ في جديلة DNA تلك لن ينشط الآلية النهائية للتحقق من الخطأ، أي الموت). لكن حتّى بالرغم من كون ذلك الجزء من DNA الميتوكوندريا كان معرضا للخطأ، إلا أنه عندما قام العلماء بتحليل عينات DNA ميتوكوندريا أحد سكان شيدر المحليين وجدوا التوافق متطابقًا تقريبًا. كان أدريان تارجيت Adrian Targett، مدرس التاريخ بمدرسة قريبة من شيدار، يمتلك غالبًا المعلومات نفسها في DNA الميتوكوندريا الخاصّة به كما هي مخزّنة بالضبط في الهيكلّ العظمي ذي التسعة آلاف سنة، ففي الجديلة المكوّنة من أربعمائة قاعدة ادنين وثيمين وجوانين وسيتوسين التي قام علماء البيولوجيا بتحليلها، فإن DNA ميتوكوندريا تارجيت توافق مع DNA الهيكل العظمي، رمزًا رمزًا، باستثناء طفرة واحدة. كانت هناك بتتان مختلفتان فقط ضمن الثمانمائة بتة معلومات في DNA ميتوكوندريا الرجلين.

لا مفرّ من أن يكون التوافق شبه التام متزامنًا، فالفرص المضادّة لذلك فلكية. ربّما كان تارجيت متحدّرًا من صلب أخ أو أخت الهيكل العظمي وربّما كانا أقارب من درجة بعيدة. لكن من الواضح

جدًّا أنه حتّى المناطق المعرضة نسبيًّا للخطأ الجيني في جينومنا تصبح مستقرّة جدًّا أثناء قيام المعلومات بنسخ نفسها المرّة تلو الأخرى. وبعد تسعة آلاف سنة من النسخ كان تارجيت يحمل التسلسل نفسه الذي يحمله الهيكل العظمي تقريبًا.

الجدّائل الأكثر أهمية في DNA ـ التي تقتل الكائن إذا ما تمّ العبث بها ـ يجرى حفظها حتّى لزمن أطول. في مايو 2004، نشر مجموعة من العلماء بحثًا في مجلة Science لوصف خمسة آلاف تسلسل كبير نسبيًّا، وقد أظهر البحث تماثلًا بنسبة 100% بين البشر والجرذان والفئران، كانت أجزاء من هذه التسلسلات متماسكة بشكل أروع في جينوم الثدييات الأخرى مثل الكلاب، بالإضافة إلى الفقاريات الأخرى كالدجاج والسمكة الكروية puffer fish. فإذا تم تمرير تلك المعلومات كما يعتقد علماء البيولوجيا، عبر الأجيال من مصدر واحد أكثر من كونها نشأت بشكل مستقلّ في تلك الكائنات، فلا بدّ أن تكون تلك المعلومات موجودة قبل أن تنسلخ شجرة الثدييات عن الفقاريات الأخرى منذ عشرات الملايين من السنوات، وحتّى قبل أن تنقسم الأسماك من الفرع الذي تطوّر إلى الزواحف والطيور قبل مئات الملايين من السنوات. وطوال هذا الزمن، وبعد المليارات من عمليات التكاثر، بقيت المعلومات متماسكة بدرجة أو أخرى، ومحميّة بشكلّ مدهش من تخريب الزمن والانتروبيا.

لكن هذا لا يعني أنه يمكن استثناء خلايانا من القانون الثاني للديناميكا الحرارية. فبينما تحافظ إنزيماتنا على معلومات الخلايا آمنة ـ فتقوم بترميمها وتعكس الانتروبيا موضعيًّا ـ فإن هذه البروتينات تستهلك طاقة وتبذل شغلًا. هذا يعني أن انتروبيا الكون يجب أن تزيد، حتّى لو أن انتروبيا الخلية ظلّت منخفضة باستمرار. (لايختلف ذلك عن حالة الثلاجة، فرغم أنّها تحافظ على داخلها باردًا بتقليل انتروبيتها الذاتية، إلا أنه يجب عليها طرد الحرارة، فتزيد انتروبيا الكون في هذه العملية). بمعنى أن خلايانا تأكل الطاقة والمخلّفات الناتجة عن ذلك هي الانتروبيا.

لحسن الحظ، أن خلايانا لديها مصدر للطاقة. الشمس هي مصدر (معظم) الطاقة المتاحة للمخلوقات على الأرض، فهي تسكب أكثر من مليون مليار ميجاوات كلّ ساعة طوال العام على كوكبنا في شكل ضوء. بعض الكائنات تستخدم الضوء مباشرة، مستغلة الضوء في الفوتونات لتصنيع السكريات من ثاني أكسيد الكربون والماء. وبعضها يستخدم الضوء بشكل غير مباشر ـ بالتهام الكائنات التي تستخدم الضوء مباشرة. أو بالتهام الكائنات التي تلتهم الكائنات التي تستخدم الضوء مباشرة. أو بالتهام الكائنات إلى تلتهم الكائنات التي تلتهم الكائنات... هل وصلت الفكرة(********).

لكن ماذا عن الانتروبيا؟ إذ لا يجب فقط على الكائنات أن تستهلك الطاقة، بل يجب أن تطرح الانتروبيا ـ أو بأكثر دقّة، يجب عليها بشكل ما أن تزيد من انتروبيا بيئتها إذا كان عليها أن تعكس التدهور الزاحف الذي يبذله القانون الثاني للديناميكا الحرارية على المعلومات في خلاياها. لحسن الحظ بالنسبة لنا، فإن الأرض هي مكان ضخم لتخزين الانتروبيا. إنه نظام خارج عن التوازن، مثل الغاز الذي يوجد معظمه في أحد جوانب الصندوق.

إذا كان كوكب الأرض في حالة توازن، فسيبدو متماثلًا في كلّ مكان على سطحه غالبًا. وستكون درجة الحرارة متماثلة في كلّ مكان تقريبًا: لن تختلف الصحراء عن سهول القطب الشمالي الجرداء. وسيكون للغلاف الجوى الضغط نفسه في أيّ مكان: لن تكون هناك رياح، ولا أمطار،

ولا عواصف، ولا أنظمة ضغط منخفض ومرتفع، ولا أمواج المحيطات، ولا أيام دافئة، ولا أيام باردة، ولا قمم جليدية في القطبين، ولا مناطق استوائية. لكن ليست تلك هي الأرض أبدًا. فكوكبنا مكان ديناميكي يتغيّر يومًا بعد يوم. فالضغط الجوي متقلّب كلّما تحرّكت كتل العواصف وتحرّك الهواء بعنف حول الكوكب. وإذا سافرت حول الأرض سترى بيئات مختلفة كلّيا: صحارى، محيطات، قمم جليدية ـ تلك الأماكن الرطبة أو الجافة، الساخنة أو الباردة، أو كلّ ذلك في أوقات مختلفة من العام. وبنظرة شاملة، ليس هذا توازنا.

لأن الأرض ليست في توازن، فإن لدينا وفرة من المجالات لزيادة انتروبيتها، وزحزحتها قليلا للاقتراب من التوازن. يستهلك البشر، على سبيل المثال، طاقة متاحة وقابلة للاستخدام تماما ـ كساندويتشات الهامبورجر الكبيرة Big Macs ـ لكن لأن الطاقة لا تخلق ولا تفنى، فنحن ببساطة نحوّلها إلى شكل أقل استخدامًا مثل الحرارة الضائعة (لن نشير هنا إلى فضلات الإخراج). فنحن نأخذ باستمرار شكل الطاقة القابل للاستخدام من الشمس ونجعله، مباشرة أو غير مباشرة، أقل قابلية للاستخدام. وبفعل ذلك، نزيد من انتروبيا بيئتنا، وبيئتنا هي الأرض. في الوقت نفسه، إذا لم يكن هناك طريقة لدى الأرض لإراقة هذه الانتروبيا. فإن كوكبنا سيقترب ببطء من التوازن حتمًا. وسيكون أصعب وأصعب على الكائنات التخلّص من انتروبيتها بزيادة انتروبيا البيئة، وستخمد الحياة ببطء كلّما اقتربت الأرض من حالة الانتروبيا النهائية، لكن هذا لا يحدث، فشكرًا للشمس مجدّدًا.

إذا راقبت الأرض عن بعد، فستلاحظ أنها تسطع ـ ليس بدرجة سطوع الشمس نفسها، ولكي أكون دقيقًا، فإنها تشع ضوءًا ـ وبعض هذا الضوء هو مجرد انعكاس مباشر من الشمس ولكن بعضه الآخر ليس كذلك. فالأرض، كنظام، تمتص الضوء وتعيد إشعاعه في شكل معدّل. على سبيل المثال تنبعث من الشمس أشعّة جاما وأشعة إكس والأشعّة فوق البنفسجية التي لاتصل أبدًا إلى سطح الأرض. تلك الفوتونات عالية الطاقة والحرارة، تصطدم بجزيئات الغلاف الجوي ـ الأوزون ـ وتقوم بتفكيك هذه الجزيئات بعضها عن بعض. طاقة الفوتونات تفكك الروابط الكيميائية وتجعل الذرّات في الغلاف الجوي تتحرك أسرع، إنها تسخّن الهواء فوقنا. والأشياء الساخنة تشعّ طاقة على شكل فوتونات.

مع ذلك، فإن الغلاف الجوي أبرد بكثير من مصدر أشعّة إكس وأشعّة جاما والأشعّة فوق البنفسجية. وبدلًا من أن يشعّ فوتونات ساخنة وذات حرارة عالية، فإنه يشعّ فوتونات باردة وذات حرارة منخفضة، ضوءًا مثل الأشعّة تحت الحمراء. الكائنات الحيّة تساعد في تلك العملية باستمرار أيضًا: النباتات تحوّل الضوء المرئي إلى سكريات، والحيوانات تحوّل النباتات إلى حرارة ضائعة وإشعاعات تحت حمراء. كلّ شيء، الكائنات على الأرض تحول الضوء المرئي الذي تولّده أجسام تبلغ حرارتها آلاف الدرجات المئوية إلى الضوء تحت الأحمر، الذي تولّده أجسام تبلغ حرارتها عشرات الدرجات المئوية. فالأرض وكائناتها الحية قد حوّلت الفوتونات الساخنة إلى فوتونات باردة، وتلك الفوتونات الباردة تحت الحمراء تتدفّق إلى الفضاء الخارجي. وبهذه الطريقة تجرى إراقة الانتروبيا، يجرى تقليل انتروبيا الأرض على حساب المحيطين بها.

الفضاء العميق باردٌ جدًّا، إذ تبلغ درجة حرارة الإشعاع الذي يملأ خلفية الكون حوالي 3 درجات مئوية فوق الصفر المطلق. وإذا كان الكون ككلّ في حالة توازن، فلن تكون درجة حرارته أعلى من ذلك. ستكون درجة حرارة مجمل الكون أعلى قليلًا من أن يكون باردًا كما هو محتمل فيزيائيًّا.

أي شيء أسخن من درجة حرارة التوازن الفاترة تلك، أي شيء له عشرات أو مئات أو آلاف درجات الحرارة فوق الصفر المطلق، لن يكون على مستوى توازن الكون. كلّما كان الجسم ساخنًا، صار أبعد عن توازن الكون، وكلّما كان الجسم أبعد عن التوازن، زادت الانتروبيا التي يمكن إفراغها فيه وجعله أبرد وأقرب من التوازن الكوني. هذا بالضبط ما تفعله الأرض وسكانها. فبأخذ طاقة الشمس الساخنة وتبريدها وإعادة إشعاعها، فإن كوكبنا والكائنات التي تحيا عليه تلفظ الانتروبيا إلى النظام الشمسي وما وراءه. لقد أخذت مصدر الطاقة وجعلته أقل استخدامًا. وبوحدات انتروبيا الديناميكا الحرارية فإن الأرض تقلّل من انتروبيتها بأقلّ من تريليون trillion جول لكلّ درجة مئوية كلّ عام. مرسلة كلّ ذلك إلى أبعد مكان في الفضاء.

لذلك قال الجميع، إن المعلومات في خلايانا خالدة بسبب هذه التبادل المعقد بين الطاقة والانتروبيا والمعلومات. الآليات الجزيئية في أجسامنا تتبع التعليمات التي تمدّها بها المعلومات الوراثية، إنها تقوم بنسخ المعلومات في خلايانا والإبقاء عليها، مستهلكة الطاقة ومولدة الانتروبيا. إنها تفعل ذلك لأن الكائن نفسه يحصل على الطاقة مباشرة أو بشكل غير مباشر من الشمس ويطلق الانتروبيا إلى الغلاف الجوى أو إلى البحر - إلى بيئة الأرض. والأرض تلفظ هذه الانتروبيا بسبب إشعاع الشمس. فالطاقة تتدفّق إلى الداخل والانتروبيا تتدفّق إلى الخارج، ويتمّ حفظ المعلومات في خلايانا.

تستطيع هذه الدورة أن تستمرّ طالما ظلّت الشمس مشعّة وطالما بقيت الأرض موجودة. وإذا توقّفت الشمس فجأة، فإن الأرض ستبرد سريعًا، ستتجمّد المحيطات وسيستقرّ الغلاف الجوي، وسيقترب كلّ الكوكب سريعًا من درجة حرارة التوازن بعدّة درجات قليلة فقط أعلى من الصفر المطلق، ستتوقف كلّ الحياة. لكن طالما بقي مصدر الطاقة وطريقة التخلص من الانتروبيا، فإن المعلومات يمكنها أن تنسخ نفسها وتبقي على نفسها خالية نسبيًّا من الأخطاء - وتعكس تخريب الزمن. المعلومات يمكن أن تكون خالدة، بالرغم من محاولات الانتروبيا لتشتيتها.

بالرغم من أن العلماء ليس لديهم إجابة جيدة عن السؤال، ما الحياة؟ فهذه الرقصة المركبة لنسخ المعلومات وحفظها يجب أن تشكل جزءًا كبيرًا من الإجابة. تحتوي المعلومات جزءًا معقولًا من سرّ فهم طبيعة الحياة. ليس هذا فحسب، بل لديها مفاتيح حلّ لغز سؤال آخر لم تتم الإجابة عليه. من أين أتينا؟ وهنا فالمعلومات تمنحنا أيضًا إجابات مدهشة لهذا اللغز القديم.

لقد مرّت المعلومات التي في خلايانا من جيل إلى جيل، فالمكتوب في شفرتنا الورراثية هو تاريخنا كنوع - هجراتنا ومعاركنا - بداية من اللحظة الأولى لميلاد البشرية، وقبل ذلك بكثير. فمن الطبيعي إذن أن يستخدم العلماء المعلومات للنظر إلى الوراء في الزمن.

إن فكّ شفرة جينوم الإنسان يشبه قراءة كتاب ضخم كتبه أسلافه. فكلّ جينوم يحمل توقيع كلّ الذين سبقوه، كلّ برنامج جيني أتى إليه في سلسلة التكاثر. وقراءة المعلومات في جينوم كلّ شخص يمكن أن تبين رواية شيقة لا يمكن الوصول لها بأي طريقة أخرى.

أحد الأمثلة المثيرة تأتي من زيمبابوي، حيث تحكي قبيلة - الليمبا Lemba - رواية يصعب تصديقها. إنها أسطورة يرويها الآباء للأبناء دومًا، وتحكي أن رجلًا اسمه بوبا Buba، هبط منذ ثلاثة آلاف سنة إلى الليمبا متجهًا جنوبًا من الأراضي التي تشغلها في الوقت الحاضر - إسرائيل. تزعم الليمبا أنها قبيلة ضائعة من يهوذا Judea. يزعمون أنهم يهود. وبعد رحلة طويلة أخذتهم

عبر اليمن وعبر الصومال وعلى طول الشاطئ الشرقي لأفريقيا، استقرّوا في النهاية في زيمبابوي.

قليلون الذين صدّقوا قصّة الليمبا. فهنالك القليل الذي يربط هذه القبيلة بالشعب اليهودي القديم. ومع أنه حقيقي أن الليمبا يحتفلون بالسبت مثل اليهود، ويرفضون أكل الخنزير، ويختنون أبناءهم الذكور. فمن ناحية أخرى، فإن هذه العادات الشفهية لا يمكن التعويل عليها ومن الصعب أن تكون سببًا لقبول الزعم بهذا الهبوط غير العادي. والأكثر من هذا، أن خرافة فقد قبائل من بني إسرائيل شائعة جدًّا في كلّ أنحاء العالم، فهناك كثيرون يزعمون أنهم ينتمون إلى إحدى تلك القبائل المفقودة. إلا أن العلماء قد وجدوا على الأقل بذرة للحقيقة في تلك الأسطورة التي عمرها ثلاثة آلاف سنة، بفضل المعلومات التي يحملها شعب الليمبا في جيناته.

في عام 1988، قام علماء الوراثة في الولايات المتحدة وإسرائيل وإنجلترا بتحليل الكروموسوم Y لذكور الليمبا. (الكروموسوم Y عبارة عن رزمة من الجينات تمنح الطفل الذكر ذكورته. إنها تمرّ من الأب للابن للحفيد. الإناث ليس لديهن الكروموسوم Y، لديهن نسخة ثانية من الكروموسوم X بدلا منه) الكروموسومY مثير بصورة خاصة هنا، فهو يحتوي علامة قوية لإرث الشعب اليهودي - الجينات الكهنوتية priestly genes.

طبقًا للتراث اليهودي، فإن الطبقة الكهنوتية، الكهنة cohanim، كانت مجموعة بشرية وثيقة الصلة بعضها ببعض، في الحقيقة وطبقًا للأسطورة، فإنّهم ينحدرون جميعًا من نسل رجل واحد، هارون أخي موسى. ولقب القس أو الكاهن، يمرّ من الأب إلى الابن إلى الحفيد إلى ابن الحفيد منذ القدم تمامًا مثل الكروموسوم Y. إنّ تسليم منصب الكاهن من جيل إلى جيل كان مشابهًا لتسليم الكروموسوم Y من جيل إلى جيل. وكلّ الكهنة اليهود، إذا كانت الأسطورة صحيحة، ينبغي أن يحملوا الكروموسوم Y نفسه: الذي كان يحمله هارون شخصيًّا.

الواقع ليس بسيطًا لهذه الدرجة. فكروموسومات Y لدى الكهنة ليست متماثلة. لكن في عام 1997، وجد العلماء دلالة جينية للكهنوت اليهودي على الكروموسوم Y. واكتشفوا أن الكهنة المعاصرين يتشاركون في الصفات الوراثية المميزة إلى حدّ ما، حتّى إن اليهود من غير الكهنة لم يمتلكوا نوع الجينات نفسها على كروموسومهم Y. ولأن اليهود يتسلمون الكهنوتيه مع الكروموسوم Y، فكلّ عضو في الكهنوت له المعلومات نفسها على الكروموسوم Y، حتّى لو اختلط الشعب اليهودي وتوزع في أرجاء الكوكب واختلطت جيناته بجينات أناس آخرين. فالكهنة ينقلون بإيمان معلوماتهم الوراثية المميزة منذ آلاف السنين، ولكلّ اليهود الذين حافظوا على طبقة كهنتهم مجموعات فرعية من البشر الذين حملوا دلالات تلك الكهنوتية. لم يكن الليمبا استثناء، ومع أنهم انفصلوا عن جذورهم إلا أنه كانت لديهم طبقة من الكهنة تتشارك في معلوماتها الوراثية مع تلك الكهنوتية. وتشير هذه الدلالات الجينية إلى أن كهنة الليمبا لهم سلالة الكهنة اليهود نفسها حول العالم - موضحة أن الليمبا لهم تراث يهودى أيضًا. لقد كانت علامة مؤكدة، فاحتمال أن يكونوا قد طوروا تلك الدلالة المميزة ذاتيًّا من خلال طفرة عشوائية، ضئيل جدًّا بما لا يُذكر.

لا توجد سجلات مكتوبة عن هبوط الليمبا من يهوذا، إلا أنّ جيناتهم أعطت صورة أكثر دقّة لتلك الهجرة ممّا يستطيع أيّ مؤرّخ. وقد استخدم علماء الوراثة المعلومات التي بداخل خلايانا لإعادة بناء هجرات بشرية أخرى كذلك. وبمقارنة المجموعة البشرية التي تتشارك في المعلومات الوراثية

المميزة ـ كجين نوع الدم ـ استطاع علماء الوراثة رسم خريطة للكيفية التي هاجر بها القدماء وانتقلوا وتناسلوا. كما أوضحوا أيضًا كيف تمّ تدمير الجنس البشري تقريبًا.

في نهاية تسعينيّات القرن الماضي، قام علماء الوراثة في جامعة كالفورنيا California بسان دييجو San Diego، بتحليل التفاوت الجيني لدى عدد من الرئيسيات، وهكذا رأوا كيف يكون الاختلاف في تسلسل DNA لدى الأفراد من نوع إلى آخر. فأفراد الشامبانزي والغوريللا متفاوتة جينيًّا ـ علامة السلالات الكبيرة والسليمة ـ لكن مجمل الجنس البشري يمتلك اختلافًا جينيًّا أقل ممّا لدى مجموعة متوسطة من عدد قليل من الشمبانزي. فما الذي يسبب هذا النقص الذي لا يصدّق في التفاوت الجيني لدى البشر؟

إذا كان علماء الوراثة على حقّ، فإن شيئًا ما في فجر الإنسانية تقريبًا قد طمس أسلافنا. مرض أو حرب أو إحدى الكوارث الأخرى قد دمّرت معظم تعداد السكان، وتقلّص عددهم إلى مجرّد ألف أو بعض ذلك. وقد تمكّنت تلك المجموعة القليلة من التشبّث والتناسل، وأعادت بناء الجنس البشري من هذا العدد الضئيل لكن سلالاتهم ـ نحن ـ تمتلك تفاوتًا جينيًّا قليلًا. لقد تم دفع أسلافنا من خلال عنق الزجاجة الجيني، فكلّنا أبناء وبنات هذه المجموعة الصغيرة من الرئيسيات. وكنوع، فقد تناسلنا نحن البشر بمشقة بسبب تلك الكارثة منذ عشرات أو مئات آلاف السنين(********). والشاهد الوحيد على تلك الكارثة القريبة هو المعلومات التي بداخل جيناتنا.

لا تطبق تلك التقنية على المعلومات التي يحملها الإنسان لكن على تلك التي تحملها الأنواع الأخرى. وبالنظر إلى مدى اختلاف جينوم البشر عن جينوم الشمبانزي، وجينوم الشمبانزي عن جينوم السمكة الكروية نزولًا إلى اختلاف جينوم الدودة الشريطية عن جينوم البكتيريا الزرقاء، يستطيع علماء الوراثة إعادة بناء الكيفية التي انتشرت بها المعلومات على مدى العصور من كائن إلى آخر، عودة بالتحديد إلى عصور ما قبل افتراق أسلافنا البشر عن أسلاف الشمبانزي منذ حوالي ستة ملايين سنة. ويمكن للعلماء أن يتتبعوا المعلومات بالعودة إلى عصر الثدييات والديناصورات، وبالعودة غالبا إلى أول حياة طفت على سطح المستنقع البدائى في الأرض القديمة.

المعلومات في جينومنا كانت شاهدة على ولادة الحياة على الأرض. إنها تحمل كلّ علامات مرورها عبر العصور، كلّ ندبات تراثها التطوري(********). حتّى إنها يمكن أن تمتلك علامات على الوقت الذي لم يكن فيه DNA وسيطا لانتقال المعلومات في الكائن الحي. إذ يعتقد بعض العلماء أنه عند نقطة معينة ربّما تم تخزين معلومات الحياة على جزيء مرتبط بـ DNA ولكنّه أكثر هشاشة: إنهRNA. حتّى إن بعض البيولوجيين يعتقد أن المعلومات كانت مخزنة في وسيط مختلف قبل ذلك. لكن مهما يكن الوسيط الأوّلي لمعلومات الحياة (وكيف استطاعت تلك المعلومات أن تنسخ نفسها)، فإنه من الواضح أن معلومات الحياة لها تاريخ قديم قدم كوكبنا وإن معظم هذا التاريخ محفوظ في كلّ خلية من خلايانا.

العلماء لا يعرفون كيف بدأت الحياة على وجه الدقّة، لكن خلود المعلومات تقريبا قد حفظ القصة التي تعود لبداية لحياة الأولى.

إنها صورة متجهمة: ربّما لم تكن الحياة سوى تخطيط المعلومات لنسخ وحفظ نفسها. لكن حتّى إذا كان هذا صحيحًا، فإنه لا يعطينا صورة كاملة. فالحياة معقّدة جدًّا، ووجودنا ليس محددًّا كلّيا

بجيناتنا. والبيئة أيضًا تؤثّر بنفوذها على تطوّر الكائن الحي ـ كما يفعل الحظ بعفوية وعشوائية. والبشر لديهم القدرة، أكثر من أي نوع آخر على الكوكب، لتجاوز أوامر المعلومات المنقوشة في كلّ خلية. فلدينا عقول مثيرة للإعجاب.

نحن كائنات قادرة على التواصل والتعلم بعضها من بعض، ويمكننا تمرير المعرفة من جيل إلى جيل وأن نبني عليها. وبمساعدة قرون عديدة من الجهد، سيكون العلماء قاب قوسين أو أدنى من تعديل شفرتنا الوراثية وتغيير المعلومات بداخلها. فكيف نكون عبيدًا للمعلومات إذا كنا قادرين تقريبًا على تعديلها حسب إرادتنا؟

نحن نتعلّم كبشر فهم شفرتنا الوراثية ومعالجتها. لكنّنا نقوم بذلك بسبب المعلومات وليس رغمًا عنها. فعقولنا، الرائعة كما هي، بمثابة آلات لمعالجة المعلومات وتخزينها. حتّى بالرغم من أنه ولآلاف السنين، لم يكن البشر قادرين على حفظ تلك المعلومات ضدّ التأثير الضارّ للزمن. وقبل أن تكون هناك طريقة لنقل المعلومات التي في رؤوسنا من شخص إلى شخص ـ اللغة ـ وقبل أن تكون هناك وسيلة لحفظها ضدّ إضرار وتشويهات أيادي الزمن ـ كالكتابة ـ كان يتمّ فقْد تلك المعارف في كلّ مرّة يموت فيها الشخص. إن معرفة إنسان مفرد ليست كافية تقريبًا للسماح له بحلّ رموز الشفرة الوراثية. لكنّ اللّغة والكتابة أتاحت للبشرية الإبقاء على معارفها الجماعية المتراكمة وحفظها حتّى لو مات كلّ الأشخاص الذين جمعوا تلك المعارف. وبمجرد حفظ تلك المعلومات، كانت الأجيال التالية تراكم عليها. وفقط عندما جاء البشر بطريقة لنقل المعلومات وحفظها استطاعوا أن يصيروا على مسار التغلب على برنامجنا الوراثي غير العاقل والعنيد لنقل المعلومات وحفظها.

بالطبع، يبدو هذا تناقضًا ظاهريًّا، لكنّه ليس كذلك. فالمعلومات بداخل جيناتنا ذات نوعية مختلفة جدًّا عن المعلومات التي نعالجها في عقولنا أو المعلومات التي نحفظها في لغتنا أو كتابتنا(********). لكن القانون نفسه ينطبق، فالكتابة هي سلسلة من الرموز ـ الحروف ـ التي يمكن اختزالها إلى بتات، واللغة المنطوقة أيضًا هي سلسلة من الرموز السمعية ـ أصوات تعرف بالفونيمات ـ وهي أيضًا يمكن اختزالها إلى بتات. وتنطبق نظرية شانون للمعلومات على الكتابة واللغة كما تفعل مع أيّ سلسلة من البتات. في الحقيقة، تعطينا دراسات الكتابة وحتّى وسائل اللغة الأكثر قدمًا نتائج شبيهة بنتائج التحليل الجيني للبشر. (لسوء الحظّ، ترجع اللّغة فقط إلى عشرات الآلاف من السنين بدلًا من مئات الملايين).

خذ الليمبا، على سبيل المثال. تشير المعلومات في لغتهم إلى ميراثهم اليهودى حتّى قبل أن يستطع العلماء فكّ شفرة المعلومات في جيناتهم. مع أن الليمبا يتكلّمون لغة البانتو Bantu ـ مجموعة من اللّغات الأفريقية التي تشمل السواحلي Swahili والزولو Zulu ـ إلا أن بعض كلّماتهم بها أثر ضئيل للأرض الغريبة التي جاءوا منها. بعض عشائرهم لها أسماء ذات منطوق سامٍ semitic-sounding مثل «صاديقي sadiqui» (الكلمة صادق تعني مستقيم أو قويم بالعبري، وأسماء مثل صاديقي توجد في المناطق اليهودية باليمن). ولأن اللغة تعدّ وسيطًا يمكن التعويل عليه في تخزين المعلومات لكن بدرجة أقلّ من الجينوم، فإن الدليل المستوحى من ماضي الليمبا يعتبر أقل وضوحًا في لغتهم ممّا هو في جيناتهم. لكن هذا الدليل، تلك المعلومات عن أسلافهم، موجودة مع ذلك.

هناك دلائل على أحداث تاريخية أخرى كذلك. فالمعلومات في اللّغة مثل المعلومات في الجينوم، تبيّن ندبات الأحداث الكبرى في التاريخ البشري –كالمعارك والغزوات والهجرات. اللغة الإنجليزية، على سبيل المثال، توضح علامات الاحتلال الأجنبي. فقد كانت الإنجليزية القديمة حتّى القرن الحادي عشر، لغة جرمانية صرفة. وتحفظ الترجمة ترتيب كلمات الجملة الأولى لقصيدة من القرن العاشر «معركة مالدون» التي تمضي كما يلي:

Commanded he his men each his horse to leave,

fear to drive away and forth to go.

to think to their hands and to courage good.

أمر هو رجاله كلّ منهم بأن حصانه يترك.

الخوف يطرد بعيدًا وقدمًا يذهب.

بنفسه يفكّر وبشكل جيد يتشجّع.

لاحظ كيف تشعر بغرابة تركيب هذه الجملة. فالأفعال تأتي في نهاية الجملة، بدلًا من بدايتها. وبالمقارنة بالإنجليزية المعاصرة (لقد أمر كلَّ واحد من رجاله بأن يترك حصانه، وأن يطرد الخوف بعيدًا ويذهب قدمًا، أن يفكّر بنفسه ويتشجّع بشكل جيّد). تنطق إنجليزية القرن العاشر كما لو كانت لخبطة ملتوية twisted mess، وغالبًا فهي تشبه في الحقيقة تركيب الألمانية المعاصرة، التي تضع الأفعال غالبًا في نهاية الجملة(********)، فهي أقرب للألمانية المعاصرة من الإنجليزية المعاصرة.

لقد غيّرت معركة دارت في عام 1066 من تطوّر اللغة الإنجليزية للأبد. حيث قام الدوق وليام William دوق نورماندي Duke of Normandy بغزو إنجلترا بنجاح. إنه رجل فرنسي، قام بإخضاع المملكة الأنجلو-ساكسونية، وسريعًا ما أصبح رفاقه المتحدثون بالفرنسية نبلاء إنجلترا الجُدد. كانت الفرنسية لغة المحاكم، وصارت الإنجليزية لغة القرويين. لم تدم هذه الحالة غير المتوازنة طويلًا. فبعد اختلاط الناطقين بالفرنسية مع الناطقين بالإنجليزية، اختلطت لغتاهما كذلك. وفي غضون ثلاثة قرون استوعبت الإنجليزية الجرمانية كمية لا بأس بها من قواعد اللغة الفرنسية، بما في ذلك ترتيب الكلمات (فنحن نميل إلى وضع الفعل في وسط الجملة، كما في الفرنسية، بدلًا من نهايتها كما يحدث في الألمانية غالبًا). وقد تبنّت الإنجليزية عددًا كبيرًا من مفردات اللغة الفرنسية، والتحليل الدقيق باستخدام مفردات اللغة الفرنسية والألمانية فقط يمكن أن يدلّ عالم اللغة على من الذي انتصر في معركة هستنجس Hastings. انظر لكلمات الموادّ الغذائية، Beef «بقرة» بالإنجليزية جاءت من الكلمة الفرنسية (boeuf)، بينما cow جائت من كلمة إنجليزية قديمة، Mutton «ضان» بالإنجليزية هي الكلمة الفرنسية (mouton)، بينما sheep كلمة إنجليزية قديمة، Pork «خنزير» بالإنجليزية هي الكلمة الفرنسية (porc) وجائت pig من كلمة إنجليزية قديمة. الأقنان الإنجليز الذين خسروا المعركة قامو برعي الحيوانات. أما النبلاء الفرنسيون الذين انتصروا في المعركة أكلوها. إن لغتنا مغطّاة بندبات عمرها ألف سنة منذ معركة هستنجس. فالمعلومات المحفوظة في لغتنا تسجّل تاريخنا تمامًا كما تفعل المعلومات الموجودة في جيناتنا.

اللغة والكتابة شيء واحد وعقولنا شيء آخر. يبدو من الصعب تصديق أن المعلومات في عقولنا مشابهة للمعلومات في جيناتنا. لشيء واحد، فعلى خلاف المعلومات الوراثية التي تحاول ألّا تتغيّر بالبيئة، فإن عقولنا تكتسب باستمرار المعلومات التي تجمعها من البيئة وتقوم بالتكيف معها. فالدماغ البشري آلة لاكتساب المعلومات تمامًا كما أنه آلة لمعالجتها.

لكنّ الفرق أكاديميًّا لأبعد ما تذهب إليه نظرية المعلومات. فأية آلة معالجة للمعلومات لا بدّ أن تتبع قوانين نظرية المعلومات. وإذا كان لدى الآلة كمية محدودة من الذاكرة (كما تفعل عقولنا) فلا بدّ لها من استهلاك الطاقة لأداء حساباتها وإلا ستنتهي إلى التوقّف في النهاية. (كما نفعل نحن، مع أن المخ يشكّل فقط نسبة صغيرة من كتلة الإنسان البالغ، فإنه يستهلك حوالي 20% من الطاقة التي نتناولها والأكسجين الذي نتنفّسه). المعلومات في رؤوسنا ـ وأي إشارة في عقولنا، بصرف النظر عن كيفية تخزينها أو نقلها ـ يمكن أن تختزل إلى سلسلة من البتات ويجرى تحليلها وفقًا لنظرية شانون(********).

إنه مفهوم محيّر، فمن منظور نظرية المعلومات، فإن الدوائر اللزجة التي تحمل المعلومات في المخ لا تختلف عن الترانزستورات أو الأنابيب المفرغة أو لمبات الإشارة أو أعلام السيمافورات. إنها الوسيط وليست الرسالة، فقط الرسالة هي التي تؤخذ بعين الاعتبار. والمخ في الحقيقة أكثر تعقيدًا بكثير من أية آلة نعرفها لتخزين المعلومات ومعالجتها، لكن هذا التعقيد لا يبطل صلاحية قوانين المعلومات. فتلك القواعد تنطبق على الرسائل بصرف النظر عن الشكلّ الذي تتّخذه. ومع أننا نعرف القليل فقط عن الكيفية التي يقوم بها المخ بتشفير المعلومات ونقلها، ونعرف الأقل حتّى عن معالجة المخ لها، إلا أننا نعرف أن هذه المعلومات تتبع قوانين شانون. وأحد تلك القوانين هو قابلية المعلومات لأن يعبر عنها بالبتات.

في مختبر ليس ببعيد عن برينستون بنيوجيرسي Princeton, New Jersy، أمضى عالم البيولوجيا وليام بيالك William Bialek سنوات محاولًا ببعض النجاح تفكيك شفرة الرموز التي تستخدمها أدمغة الحيوانات لتشفير المعلومات وكان معظم عمله على الذباب. في تجارب تماثل نسخة دقيقة جدًّا من البرتقالة الآلية Clockwork Orange، قام بيالك بتثبيت الذبابات، ثم قام برشق إبرة في أعصابها البصرية، وإجبارها على مشاهدة أفلام. لكن تلك التجارب التي تبدو شنيعة كان لها غاية. سجل بيالك وزملاؤه الإشارات في دماغ كلّ ذبابة عندما ترى الذبابة أشياء مختلفة، وهو ما سيُظهر بدوره كيف يتم تشفير المعلومات في المخ.

أمخاخ الذباب مثل أمخاخ البشر، مصنوعة من خلايا متخصّصة تعرف بالعصبونات neurons، تلك العصبونات متّصل بعضها ببعض بشبكة هائلة. إذا قمت بدغدغة أحد تلك العصبونات بشكل سليم فستصبح مستثارة خلال عملية كهروكيميائية معقّدة، وستتبادل أيونات الصوديوم والبوتاسيوم أماكنها على جانبي جدار الخلية. العصبونة تنطلق من 0 إلى 1، وبعد جزء صغير من الثانية ستعود إلى وضعها الأول، متحوّلة إلى 0 مرة أخرى. ومع أن للعصبونات أنظمة معقّدة لإرسال الرسائل فيما بينها، إلا أن إثارة العصبونة تتبع بالأساس قاعدة كلّ شيء أو لا شيء all or nothing: فإمّا أن تثار أو لا تثار. إنه إلى حدّ كبير قرار ثنائي، أنت لست بحاجة حتّى لاستدعاء حجة شانون الأكثر تطورًا لتخيّل أن الإشارات العصبية يمكن اختزالها إلى بتات وبايتات(********)، فالعصبونة ظاهريًّا هي قناة كلاسيكية للمعلومات.

حاول بيالك أن يعرف كيف تقوم الذبابة بتشفير الرسائل في تلك القناة بوضع جهاز استكشاف في العصب البصري للذبابة. فقام بعرض أفلام بصور بدائية لها: شريط أبيض، شريط أسود، شريط يتحرّك من اليسار إلى اليمين وهكذا. وقد سجل الإشارات التي تمرّ من خلال العصب البصري إلى المخ. وبتفكيك شفرة تلك الإشارات، اكتشف بيالك «الأبجدية» الأساسية للإشارت العصبية التي يستخدمها مخّ الذبابة في تشفير المعلومات البصرية. وقام بحساب كمّية المعلومات التي تشفّرها تلك الإشارات. وبرغم أن هناك بعض الجدل بشأن الأرقام الدقيقة، يبدو أن العصبونة في مخّ الذبابة قادرة على نقل، في حدّها الأقصى، حوالي خمس بتات من المعلومات كلّ ميللي ثانية. وقد أكد عمل بيالك أن بعض الأشياء المعقدة مثل الصورة البصرية على الشبكية يجرى اختزالها بما يعادلها من بتات وبايتات ويتم نقلها إلى المخ. فعندما ترى الذبابة قطعة لذيذة من سلطة البطاطا وتقرّر أن تقترب، فإن مخّها سيستقبل ببساطة سلسلة من البتات، وسيرسل إشارات إلى عضلاتها ـ أيضًا يمكن تقدير كميتها بالبتات ـ لكي تطير نحو الطعام. وبالرغم من كون مخّ الذبابة آلة معقّدة بشكل غير عادي إلا أنه آلة لمعالجة البتات أيضًا. وكذلك نحن وفقًا لنظرية المعلومات الكلاسيكية.

إنها صورة أكثر قتامة حتّى من ذي قبل. فبالرغم من مقدرتنا على تمرير المعلومات من جيل إلى جيل واستخدام عقولنا لإبداع أشياء راقية مثل الأوديسة odyssey وأشياء فاتنة مثل نظرية المجال الكمي quantum field theory بقدر ما يستطيع أن يخبرنا به العلماء، إلا أننا وإلى حدّ بعيد عبارة عن آلات لمعالجة المعلومات. إنها آلات معقّدة لمعالجة المعلومات بشكل لا يصدّق، تستطيع القيام بمهام لا يمكن لآلة شبيهة القيام به، لكنّها آلات لمعالجة المعلومات مع ذلك.

يبدو أن هناك شيئًا مفقودًا في تلك الصورة. فبعد كلّ شيء، نحن أذكياء، حساسون، ومدركون لذواتنا. نحن واعون، والآلات الأخرى غير الحية التي تعالج المعلومات مثل الكمبيوترات، لا تبدو كذلك. فماذا يميزنا عن الآلات الحاسبة والكمبيوترات؟ هل هو محض فرق في التدرّج، أم أن هناك شيئًا آخر على المسرح؟

بعض العلماء والفلاسفة (دون الإشارة إلى القيادات الدينية) سيفكرون على هذا النحو. على أنه إذا اعترفت بأن المعلومات هي ما يتمّ نقله في عصبوناتنا، فستكون هناك طريقة للتخلص بصعوبة من الاستخلاصات المختزلة والسوداوية لنظرية المعلومات الكلاسيكية.

لكن ربّما كان هناك مخرج. فنظرية المعلومات كما تصورها شانون ليست كاملة. فبينما تصف المعلومات التي يمكن تخزينها أو نقلها بالكمبيوترات أو التليفونات أو بأسلاك التليفونات وبكابلات الألياف البصرية، فإن قوانين نظرية المعلومات تستند إلى الفيزياء الكلاسيكية. وفي القرن العشرين، أنهت ثورتان حقبة الفيزياء الكلاسيكية: نظرية النسبية ونظرية الكم.

لقد غيّرت نظرية النسبية ونظرية الكمّ من طريقة إدراك علماء الفيزياء للكون. فقد طرحتا الكون البسيط البديهي الميكانيكي واستبدلتاه بواحد أكثر تعقيدًا وأكثر إرباكًا، من الناحية الفلسفية. في الوقت نفسه فقد بدّلت نظرية النسبية ونظرية الكمّ من قواعد نظرية المعرفة كما بدّلت بقية الفيزياء. فالنسبية، التي تصف التاثيرات الانحنائية التي تحدث عندما تسير الأجسام بسرعة عالية جدًا أو تتعرّض لحقول مغناطيسية هائلة، قد وضعت حدًّا لمدى سرعة نقل المعلومات من مكان إلى مكان. ونظرية الكم، التي تتعامل مع خصائص الأجسام الصغيرة جدًّا، المناقضة للحدس، قد بيّنت أن هناك الكثير من المعلومات ـ على الأقل في المجال تحت الذري ـ أكثر من البتات والبايتات. إلا أن

نظرية المعلومات قد بدّلت، في الوقت نفسه، هاتان الثورتان بطرق جعلت العلماء بالكاد يبدأون في الفهم. فبالنظر إلى النسبية ونظرية الكم بمصطلحات نظرية المعلومات، حصل علماء الفيزياء على مفاتيح حلّ أكثر مشاكل العلم أهمية. لكنّ للحصول على هذه الإجابات، يجب علينا التنقيب في كل من النظرية الكمية والنسبية ـ وكلٌّ منهما بالأساس نظرية للمعلومات.

الفصل الخامس

أسرع من الضوء

كانت هناك شابّة اسمها برايت
سرعتُها أسرع من الضوء؛
انطلقت ذات يوم،
في طريق نسبي،
ثم عادت في الليلة السابقة.
ـ أ هـ ريجينالد بوللر، النسبية

تمامًا كما انتهى العصر الكلاسيكي بسقوط الرومان في أواخر القرن الخامس، انتهى كذلك أيضًا عصر الفيزياء «الكلاسيكية» بتطوير نظريتي الميكانيكا الكمية والنسبية في أوائل القرن العشرين. وللوهلة الأولى، لم تشتمل أي من النظريتين ـ اللتين شارك في وضعهما عالم شابّ اسمه ألبرت آينشتين Albert Einstein ـ على المعلومات. لكنّهما بدتا مخادعتين.

حتّى بالرغم من ظهور النسبية وميكانيكا الكم قبل نظرية شانون، إلا أنهما في الحقيقة نظريتان للمعلومات. الأمر محيّر بعض الشيء لرؤيته في البدء، لكن أسس نظريّة المعلومات تكمن تحت سطح كل من هاتين النظريتين. فنظرية المعلومات قد تكون مفتاحًا لحلّ ألغاز النسبية وميكانيكا الكم، ولحلّ الصراع المزعج بينهما. إذا حدث ذلك، سيكون هذا نصرًا متوّجًا للفيزياء الحديثة، فربّما يمتلك العلماء «نظرية كلّ شيء theory of everything»، مجموعة معادلات رياضية تصف تصرّف كلّ الأشياء في الكون، من أصغر الجسيمات تحت الذرية إلى أكبر عناقيد المجرات. إن الثورة التي بدأت باستكشاف عدد مكالمات التليفون التي يمكن أن يحتوي عليها كابل نحاسي ربّما ستؤدّي إلى الفهم الأساسي لكلّ شيء في الكون.

لفهم كيف تمتلك المعلومات كلّ هذه الأهمية الواسعة والعميقة، يجب أن نذهب إلى ما وراء الديناميكا الحرارية ونظرية شانون الكلاسيكية للمعرفة. علينا استكشاف مجالي النسبية ونظرية الكم، وهو ما سيؤدّي إلى فهم العلماء المعاصر للمعلومات – وكيفية تشكّل الكون.

لكلّ من نظرية الكم والنسبية ارتباطًا وثيقًا بالانتروبيا والمعلومات. ألبرت آينشتين، الذي أشعل شرارة ثورتي الكم والنسبية كلتيهما، قام بذلك جزئيًّا بسبب اهتمامه المبكر بالانتروبيا والديناميكا الحرارية والميكانيكا الإحصائية. في الواقع، كانت النسبية أولى ثورتي آينشتين هي النظرية المعنيّة مباشرة بتبادل المعلومات: وفكرتها المركزية أن المعلومات لا يمكن أن تسافر بأسرع من سرعة الضوء. مع أن هذا لم يمنع علماء الفيزياء من بناء أجهزة/أسرع/من الضوء وآلات الزمن. وبعضها يعمل فعليًّا.

كان من غير المحتمل أن يكون آينشتين هو الشخص الذي سيقوم بتثوير الفيزياء ـ ليس بالضبط عدم الاحتمال الذي وصفه به بعض الكتاب، فبعكس الأسطورة لم يفشل قطّ في الرياضيات في المدرسة، وكلّ السجلات تبيّن أنه كان طالبًا موهوبًا في الرياضيات. وبالرغم من كونه كان مجرد

كاتب في مكتب براءات اختراع بسيط، فقد حصل على شهادة في الفيزياء الرياضية. (كان أستاذ الفيزياء ضيق الأفق، قد منح كلّ زملائه درجة أستاذ مساعد، فشكرًا لعدم توافق الشخصيتين، فقد ترك آينشتين بلا درجة جامعية عندما حصل على شهادته).

فبعد البحث عن وظيفة جامعية والعمل لفترة وجيزة كمدرس احتياطي، حصل آينشتين على وظيفة في مكتب براءة اختراعات في عام 1902 للوفاء باحتياجاته الشخصية. وكان من الحكمة أن يفعل ذلك، فقد تزوّج خلال عام وأصبح أبًا بعد ذلك بوقت قصير. وبرغم عمله في مكتب براءة الاختراعات إلّا أنّه لم يكن كاتبًا قليل الشأن في هذا المكتب. فقد كان عالم الفيزياء المتدرّب يقترب من أوج نفوذه، فأكمل أطروحته العملية، ونشر عددًا كبيرًا من الأبحاث العلمية في وقت قصير جدًّا. وما هي إلّا سنوات قليلة قبل أن يتمكّن من صياغة النظرية التي صنعت شهرته. كان مهووسًا من عام 1902 حتّى 1905 بمنطقتين في الفيزياء: الديناميكا الحرارية والميكانيكا الإحصائية - أعمال بولتزمان.

في عام 1902، نشر آينشتين بحثًا عن الانتروبيا في مجلة Annalen der Physik، وفي العام التالى أتبع ذلك ببحث عن العمليات العكسية وغير العكسية. وفي عام 1904، كتب بحثًا عن قياس ثابت بولتزمان k الذي ظهر في معادلته عن الانتروبيا. لم يكن لأيّ من تلك الأبحاث تأثيرًا هائلًا، ويرجع ذلك جزئيًّا لعدم اطّلاعه على كلّ كتابات بولتزمان. لقد فحص آينشتين أيضًا تطبيقات الحركة الاحصائية والعشوائية للمادة: فدرس الحركة البراونية Brownian motion، كما تناولت رسالته للدكتوراه استخدام الطرق الإحصائية لتحديد أنصاف أقطار الجزيئات. سوف تصل كلّ تلك الدراسات قريبًا لنهايتها، فقد كان آينشتين على حافّة عامه المعجز 1905، عندما تحوّل لإنجاز العمل الأهم، الذي قلب الفيزياء رأسًا على عقب.

تأتى شهرة آينشتين من نظريته عن النسبية. أحد أبحاثه الحاسمة في عام 1905، كان نسخة محدودة من النسبية. تلك النسخة الأولى لم تكن تعمل في كلّ الظروف، فلم تنطبق مثلًا عندما تتسارع الأجسام أو عندما تقع تحت تأثير قوّة جذب المجال المغناطيسي. لكن ذلك البحث الذي قدّم النظرية النسبية الخاصّة كان بسيطًا وعميقًا وصحيحًا. لقد حلّ مشكلة أزعجت علماء الفيزياء دائمًا لعقود، وبدا الحلّ غير مرتبط بمشاكل المعلومات والديناميكا الحرارية. ومع ذلك، انتهى هذا الحلّ ليصبح نظرية للمعلومات: نظرية النسبية لآينشتين، وفي قلبها نظرية عن كيف يمكن نقل المعلومات من مكان إلى مكان. لكن لفهم هذا، علينا العودة إلى قلب المشكلّة التي اكتشفت منذ زمن طويل من قِبل علماء الفيزياء الذين بدأوا التفكير وفقًا لمصطلحات المعلومات.

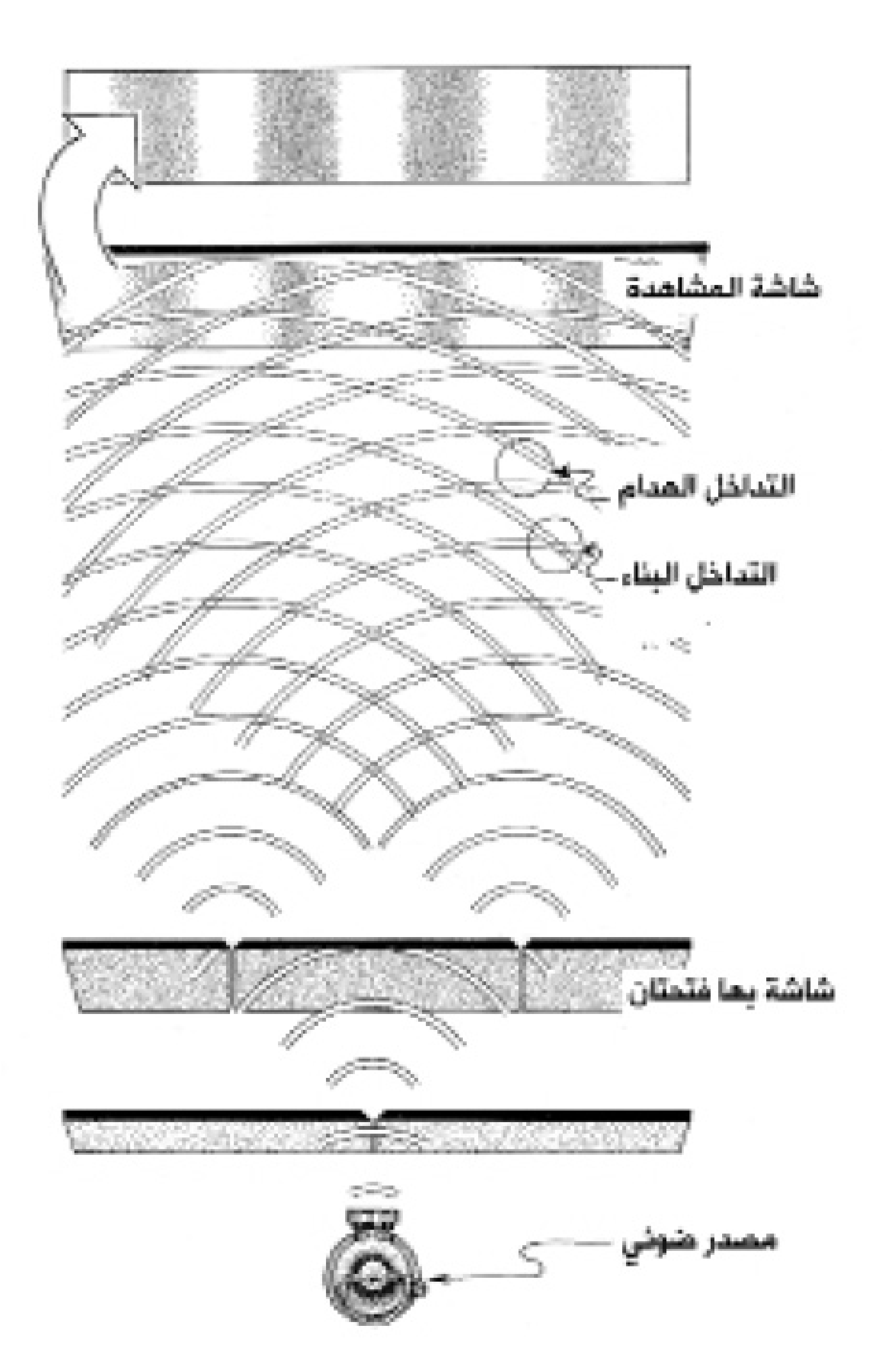
كانت المشكلة هي غرابة تصرف الضوء، وتلك كانت معضلة خطيرة لأن علماء الفيزياء قد اعتقدوا أنهم اكتشفوا الخصائص الأساسية للضوء في بدايات وأواسط القرن التاسع عشر. اعتقدوا أنهم عرفوا طبيعة الضوء، وأنهم فهموا المعادلات التي تتحكّم في الكيفية التي يتصرّف بها الضوء. وكان الفيزيائيون على خطأ في الحالتين.

يعود الخلاف العميق حول الضوء لعدّة قرون قبل مولد آينشتين. كان إسحق نيوتنIssac Newton مؤسّس الفيزياء الحديثة، مقتنعًا بأن الضوء عبارة عن تجمع جسيمات دقيقة جدًّا تنتقل باستمرار من مكان إلى مكان، وكان علماء فيزياء آخرين مثل كريستيان هوجنز Christiaan Huygens مخترع الساعة البندولية، يجادلون بأن الضوء ليس جسيمات أبدًا، وأنه أكثر شبهًا

بموجة الماء عن كونه شيء مفرد ومنفصل. لقد تراوح هذا الجدل جيئة وذهابًا، وكان معظم علماء الفيزياء يميلون لفكرة نيوتن بأن الضوء عبارة عن كرية corpuscle ـ جسيم ـ لكن الأمر كان في الواقع مسألة إيمان سواء اعتقد الشخص أن الضوء كان جسيمًا أو موجة. لم يستطع أحد الإتيان بتجربة عملية محدّدة لتمييز أيّ من الجانبين كان صحيحًا، لا أحد. كان الأمر كذلك حتّى العام 1908، عندما استنبط توماس يونج Thomas Young الطبيب وعالم الفيزياء البريطاني تجربة أجابت من كلّ مظاهرها، عن السؤال وأنهت الجدل مرة واحدة وإلى الأبد.

كانت تجربة يونج بسيطة جدًّا، فقد أضاء شعاعًا ضوئيًّا ومرّره خلال حاجز به فتحتان صغيرتان. أحدث الضوء على الجانب الآخر من الحاجز، شكلًا من الضوء الصافي والنطاقات المظلمة، شكل تداخلinterference pattern. كانت تلك الهوامش مألوفة جدًا للذين يدرسون الموجات.

الأشكال المتداخلة تحدثها كلّ أنواع الموجات، ومن المحتمل أن تكون شاهدت ذلك من قبل، حتّى لو لم تكن مدركًا للظاهرة. فعندما تسقط حجرًا في بحيرة، فإنك تحدث تموجات دائرية في الماء. فالحجر يسقط وأثناء ارتطامه بسطح البحيرة ينشئ سلسلة من القمم crests والقيعان troughs المتبادلة التي تنتشر سريعًا متباعدة في كلّ اتجاه. الحجر سيصنع شكلًا دائريًّا من الموجات. الآن، بدلًا من حجر واحد، قم بإلقاء حجرين واحدًا بعد الآخر في اللحظة نفسها، سيكون الشكل أكثر تعقيدًا. فكلّ حجر سينشئ شكله الخاصّ من القمم والقيعان. تلك القمم والقيعان ستنتشر للخارج وستتلاقى كلتاهما ـ وستتداخلان. عندما تتلاقى قمّة مع قاع، أو يتلاقى قاع مع قمة، فإن الموجتين يلغى كلّ منهما الآخر، لتخلفان مكانهما سطحًا هادئًا تمامًا. إذا أسقطت حجرين في بحيرة هادئة، ربما سيكون بمقدورك رؤية السطح المتموّج به أثار خطوط ساكنة وهادئة. تلك الخطوط هي مناطق حيث القمم التي ينشئها حجر تلغي دائمًا القيعان التي ينشئها الحجر الآخر والعكس بالعكس. هذه الخطوط هي أشكال للتداخل تمامًا مثل ما شاهده يونج في تجربته على الضوء.



تجربة التداخل ليونج

يمرّ الضوء خلال الفتحتين الضيقتين في الجدار بالضبط كما يرتطم الحجران بالماء في الوقت نفسه. ومثلما يكون الحال مع موجات الماء، فإن قمم موجات الضوء وقيعانها تمرّ من خلال الفتحتين ثم تتدفّق بسرعة متباعدة عن الجدار. ومثل التموجات على سطح البحيرة، فكلّ قمم أو قيعان الضوء التي تمرّ من خلال الفتحة اليسرى ستلتقي دائمًا بالقمم والقيعان التي مرّت من الفتحة اليمنى. وعندما تتقابل قمّة مع قمة أو قاع مع قاع، سيقوّي كلّ منهما الآخر، بينما عندما تتقابل قمّة مع قاع فإنهما يلغيان بعضهما. بالنظر من أعلى، فإن مناطق الإلغاء ستصنع شكلًا من النطاقات المظلمة - حيث يلغي الضوء نفسه - مماثلًا للشكل النطاقي للمياه الهادئة المتولّد عن حجرين أُلقيا في بحيرة. لكن في حالة الضوء، ولكي تستطيع رؤية هذه الخطوط من أعلى، عليك أن تعرضها على شاشة في نهاية الغرفة. وقد شاهد يونج أنه عند سقوط الضوء على الشاشة بعد المرور خلال الفتحتين، فإنه سيترك تسلسلًا من النطاقات المضيئة والمظلمة، فهو يخلق شكلًا متداخلًا(********).

اكتشاف يونج – اكتشاف نمط تداخل الضوء - أوضح أن الضوء يتصرف كموجة، حيث إن التداخل بطبيعته خاصية موجية. لم يستطع علماء الفيزياء تفسير أنماط التداخل بطريقة الجسيمات التي تتصادم وترتدّ، لكنّه كان من السهل تفسيرها بمزيد من التفاصيل، عن طريق الموجات التي تنفذ ويتداخل بعضها ببعض. لقد بدا أن الضوء موجة، وليس جسيمًا، فقد قام يونج بأداء عدد من التجارب الأخرى التي عززت فكرته. فرأى أن الضوء يقوم بما تقوم به الأشياء الموجية الأخرى، مثل الحيود diffracting. فهو ينحني قليلًا عندما يصطدم بحافّة حادّة - يحيد - وهو الشيء الذي تميل الموجات لفعله بعكس الجسيمات. وقد بدا الحكم واضحًا جدًّا بالنسبة لعلماء الفيزياء في ذلك الوقت: الضوء موجة وليس جسيمًا.

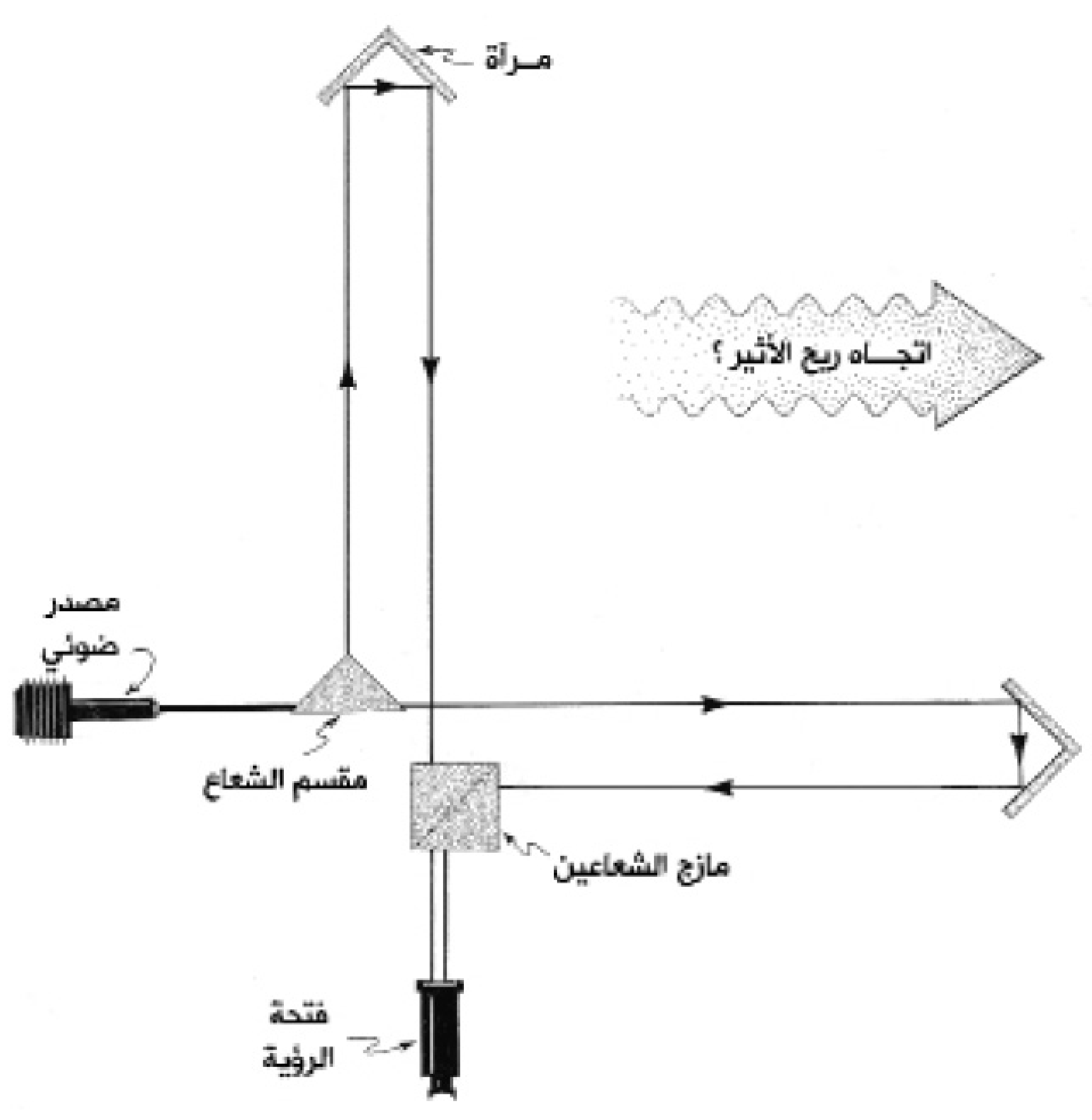
لقد أغلقت قضية موجية الضوء في ستينيات القرن التاسع عشر عندما قام ماكسويل - صاحب العفريت - باشتقاق مجموعة معادلات تفسر الطريقة التي تتصرّف بها المجالات الكهربائية والمغناطيسية. والضوء، الذي هو ظاهرة كهرومغناطيسية، يتبع القواعد التي جاءت بها تلك المعادلات أيضًا. بالنسبة لعلماء الرياضيات وعلماء الفيزياء، بدت معادلات ماكسويل شبيهة جدًّا بالمعادلات التي تصف كيفية انتشار الموجات خلال وسط: كانت شبه موجية wave-ish، وقد وصفت الطريقة التي يتحرّك بها الضوء بدقّة كبيرة. في الحقيقة، فإن المعادلات قد أملت سرعة الضوء، وإذا قمت بتطبيق معادلات ماكسويل بشكل صحيح ستعرف بدقّة السرعة التي يسير بها الضوء. لقد كان البرهان ساحقًا بالنسبة لعلماء الفيزياء في القرن التاسع عشر، الضوء موجة، لكن موجة ماذا؟

عندما تسمع موجة صوتية، فأنت تنصت إلى ارتطام الهواء وهو يصطك بطبلة أذنك. وعندما تصفق بيديك، فأنت تقرع جزيئات الهواء التي تقرع جزيئات الهواء التي تقرع جزيئات الهواء. ارتطام الهواء هذا هو موجة الصوت، التي تنتشر باتجاه أذنك لتجعل طبلة أذنك تتذبذب. وبالمثل، فموجة الماء عبارة عن ارتطام الماء، جزيئات الماء يتدافع بعضها ببعض كقمم وقيعان متسارعة باتجاه الشاطئ. في كلّ حالة، الجزيء الواحد في الموجة لا يتحرك بعيدًا، إنه يهتزّ قليلًا حول نفسه. الشكل كلّه يمكنه الانتقال في الوسط - الماء أو الهواء - لمسافة بعيدة، إن هذا الشكل هو الذي يصنع الموجة.

إذا كان الضوء موجة، فما الذي يتدافع؟ ما الوسط الذي ينتشر الضوء خلاله؟ في القرن التاسع عشر، كان لدى علماء الفيزياء فكرة ضعيفة عمّا يجب أن يكون عليه الوسط، ومع ذلك فقد قبلوا بوجوده، وأطلقوا على هذا الوسط المفترض الذي يحمل موجات الضوء، الأثير الضوئي .luminiferous ether

في عام 1887، حاول عالما الفيزياء الأمريكيين، ألبيرت مايكلسون Albert Michelson وإدوارد مورلي Edward Morley، الكشف عن وجود هذا الأثير بتقنية تستغل حركة الأرض. فبينما يدور كوكبنا حول الشمس وتدور الشمس حول مركز مجرتنا. سيتوجب أن تندفع الأرض خلال هذا الأثير مثل قارب مسرع على سطح المحيط. بما يعني أن الأرض عليها أن تشقّ «رياح» الأثير التي تغيّر سرعتها بينما تدور الأرض حول الشمس. لذا، فإن شعاع الضوء المنطلق عكس اتجاه تلك الرياح سيتحرّك بسرعة مختلفة عن شعاع يتحرّك مع اتجاه الرياح أو بشكل عمودي على مسار الرياح. لذا فقد فكّر مايكلسون ومورلي بأنهما إذا أرسلا شعاعي ضوء في اتجاهين مختلفين بالنسبة إلى رياح الأثير، فإنهما سينتقلان بسرعتين مختلفتين.

قام الاثنان بإعداد تجربة بارعة جدًّا لتحديد هذا الاختلاف في السرعة. وفي صميم هذه التجربة استخدم جهاز يعرف الآن باسم مقياس تداخل مايكلسون Michelson interferometer، حيث يستغل الطبيعة شبه الموجية للضوء لكي يقوم بقياسات دقيقة للمسافة والسرعة. مقياس التداخل هذا يقسم شعاع الضوء ثم يرسله في مسارين بالحجم نفسه. عندما تضرب قمة موجة الضوء مقسم الشعاع beam splitter، فإنها تنقسم إلى قمّتين متباعدتين في اتجاهين مختلفين، لتنعكسا على المرايا، ويعاد تجميعهما على كاشف detector أو حتّى على شاشة. ولأن المسارين بالحجم نفسه، فسيتوجب وصول القمتين في الوقت نفسه إذا تحرك كلا الشعاعين بالسرعة نفسها. ستقوم القمّة بتقوية القمّة منتجة قمّة واحدة كبيرة، وسيشاهد القائمون بالتجربة بقعة ساطعة على الشاشة في المكان الذي يعاد تجميع أشعّة الضوء فيه. من جهة أخرى، إذا عملت رياح الأثير على تأخير شعاع الضوء بالنسبة للآخر، فستتأخر عندئذٍ قمّة واحدة. في الحقيقة، إذا تم إعداد الجهاز بشكل صحيح، فستصل قمّة شعاع الضوء تمامًا في وقت وصول قاع الشعاع الآخر نفسه. وعندما يتم تجميع الشعاعين، فبدلًا من تقوية كلّ منهما للآخر، قمة لقمة، فإنهما سيلغي أحدهما الآخر، قمة لقاع، وسيصبح الشعاع الساطع بقعة مظلمة. لذا، فعن طريق جهاز مايكلسون لقياس التداخل يستطيع علماء الفيزياء الكشف عن التأثير الطفيف لرياح الأثير. كان كلّ ما عليهم فعله هو قياس كيف أن تغيير توجيه جهازهم باتجاه الرياح سيتسبب في ظهور البقعة الساطعة(********) أو اختفا ع ذلك، وبصرف النظر عن عدد المرّات التي حاولها القائمان بالتجربة، فإن سرعة الضوء كانت هي نفسها في كلّ اتجاه، سواء كان الضوء ضد اتجاه الرياح الأثيرية أو في اتجاهها أو كان جانبيًّا عليها. حتّى إنه في عام 1904، حاول مورلي إجراء التجربة على قمّة تل للتأكّد من أن المختبر لا يقف حائلًا بين مقياس التداخل وبين رياح الأثير لكن لم يحدث أي فرق. كانت سرعة الضوء هي نفسها في كلّ اتجاه، بغض النظر عن حركة الأرض. لم يكن هناك أثير(********). لقد كشفت تجربة مايكلسون/مورلي مشكلة كبيرة في نظرية الأثير. وقد فاز مايكلسون بجائزة نوبل في الفيزياء عام 1907 (********).



مقياس التداخل المعدل لمايكلسون

كانت تلك نصف المشكلة مع الضوء ـ تفسير انتشار الضوء بدون وسيط الأثير الذي يحمل الموجات ـ لكن ما زالت هناك نقطة عالقة، مع معادلات ماكسويل. فتلك المعادلات لها وظيفة مذهلة جدًّا في وصف سلوك المجالات الكهربائية والمغناطيسية والضوء. ويمكن القول إنها كانت أكبر انتصار لفيزياء القرن التاسع عشر، فقد طوت الطبيعة الغامضة للمجالات المغناطيسية في علبة هدايا صغيرة ولطيفة ملفوفة بأنشوطة من أعلى. لسوء الحظّ كان هناك خلل واحد، فلو تحركت قليلًا ستتحطّم المعادلات تمامًا. وبدقّة أكثر، كانت معادلات ماكسويل تنطبق فقط على الملاحظ الساكن. إذا كان الشخص الذي يجري التجربة موجودًا في قطار ويحاول وصف التجربة من وجهة نظره، من «إطار مرجعيته»، فلن يكون بمقدروه فعل ذلك وفقًا لنظرية ماكسويل. فمعادلات ماكسويل لا تعمل ببساطة من مرجعية الإطار المتحرك: المجالات الكهربائية تبدأ في التحوّل إلى مجالات مغناطيسية والعكس بالعكس، وعندما يقوم الملاحظ المتحرّك بتجميع القوى التي تعمل على الجسيم، فسيحصل غالبًا على إجابة خاطئة. ربما يقوم عالم فيزياء في القطار بحساب أن الجسيم يتحرّك باتجاه السماء، بينما سيستخلص عالم فيزياء ساكن أن الجسيم يتحرّك باتجاه الأرض.

ليس لهذا معنى. إذ ينبغى تطبيق القوانين الطبيعية نفسها بصرف النظر عن طريقة تحرّك الملاحظ. الملاحظ الذي يتحرّك في قطار ويستخدم معادلات ماكسويل لحساب الكيفية التي يتصرّف بها الجسيم لا بدّ من أن يحصل على الإجابة نفسها التي يحصل عليها الملاحظ الساكن في مكانه. في الحقيقة تلك الفكرة ـ أن قوانين الفيزياء لا تعتمد على حركة الملاحظ ـ هي أحد الافتراضين الأساسيين لنظرية النسبية. وفي عام 1905، أعلن آينشتين أن «مبدأ النسبية» هذا، الذي منح اسمه للنظرية، لا بدّ أن يكون صحيحًا. قوانين الطبيعة لايمكن أن تعتمد على حركة الملاحظ. ومع أن مبدأ النسبية أكثر من واضح، إنه بارع، إلا أنه يحتاج لقليل من الجهد لمعرفة كيف يمكن أن يكون الكون بشكل آخر. كان افتراض آينشتين الثانى، من جهة أخرى، بارعًا بشكل ساحق.

لقد بين مايكلسون ومورلي أن سرعة الضوء لا تتأثر بحركة الأرض. وقد افترض آينشتين أن سرعة الضوء لا تتأثّر بأي حركة، شارحًا باستمرار تجربة مايكلسون/مورلي. فليس مهمًّا الكيفية التي تتحرّك بها، فستقيس دومًا سرعة شعاع الضوء متحركًا بسرعة 300.000.000 متر في الثانية: C هي سرعة الضوء. إلا أن هذا الاستنتاج يبدو ظاهريًّا غير معقول أبدًا.

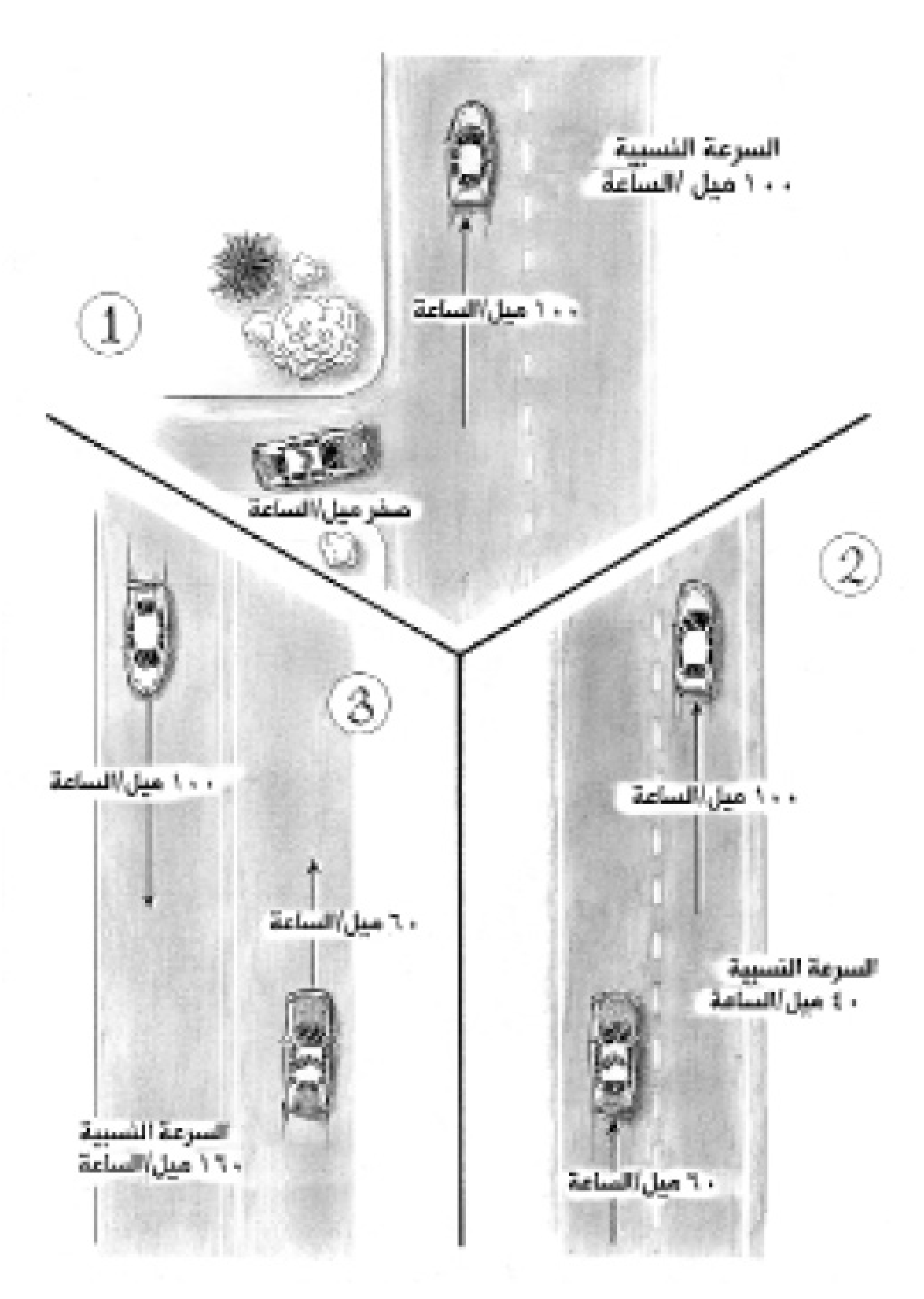
إذا كنت سائرًا في الشارع وارتطمت ذبابة بأنفك فجأة، فسوف تجفل بالكاد، فالذبابة الصغيرة يمكنها فقط أن ترفرف بسرعة أميال قليلة في الساعة. وبوزنها الصغير ومهما كانت الظروف فسيكون تأثيرها قليلًا إذا ارتطمت بك. لكن عندما تقود سيارتك على الطريق السريع في يوم صيف دافئ، ستسمع غالبًا صوت ارتطام قوي جدًّا، حيث ستتلطّخ بعض الذبابات البائسة على الزجاج الأمامي للسيارة. وإذا ارتطمت واحدة منها بوجهك بسرعة عالية، فربما تسبب لك بعض الإصابة. ربما تصطدم بنظارتك وتلطخها أو حتّى تجعل أنفك ينزف دمًا. هذا بسبب أن حركتك تؤثّر على إدراكك لسرعة الذبابة: الحركة النسبية للذبابة مختلفة جدًا عندما تكون واقفًا مكانك أو عندما تكون مسرعًا بالسيارة، فإذا كانت سرعة الذبابة 10 أميال في الساعة وتكون أنت في وضع السكون، فسترتطم بك الذبابة بسرعة 10 أميال في الساعة، وهو ما يعني أنّ التأثير ضعيف جدًّا. بينما، إذا خبطتك الذبابة وكنت متحركًا بسرعة 80 ميلًا في الساعة، فبالنسبة لأنفك سيبدو كما لو أن الذبابة

تتحرّك بسرعة 80+10=90 ميلًا في الساعة، ممّا سيتسبب في طرطشة كبيرة. في الفيزياء الكلاسيكية، وفي عالم الفطرة اليومي، فإن السرعات تكون تراكمية، بما يعني أنه إذا تحرّكت بالنسبة لجسم ما، فإنك تضيف سرعتك إلى سرعته. وهذا يفسر كيف يبدو متحركًا بسرعة باتجاهك من خلال منظورك. لقد اعتدنا أن يعمل كلّ شيء في الكون بهذه الطريقة.

رجل المرور بالرادار اليدوي radar gun، على سبيل المثال، عليه أن يأخذ في الاعتبار سرعته الشخصية، عند تتبعه للسائقين المتجاوزين للسرعة. فالرادار الذي يلتقط سيارة مسرعة تتحرّك بسرعة 100 ميل في الساعة بالنسبة للأرض سيعطي قراءة مختلفة إذا كان هو ذاته متحركًا. إذا كان ضابط المرور ساكنًا، فإن راداره سيعطي بوضوح السرعة 100 ميل في الساعة عندما يلتقط السيارة عن بعد. إلا أنه، إذا كان متحركًا بسرعة 60 ميلًا في الساعة، فإن الرادار سيرى فقط 40 ـ ميلًا ـ كلّ ـ ساعة فرق في السرعة بين الضابط والسائق المسرع. من وجهة نظر عربة الدورية فإن السائق متجاوز السرعة يتحرّك فقط بعيدًا بسرعة 40 ميلًا في الساعة. وبالعكس، إذا كان الضابط يسير في الاتجاه العكسي بسرعة 60 ميلًا في الساعة، فإنّ الرادار سيعطي انطباعًا بأن السرعة هي 160 ميل في الساعة. وسيكون السائق المتجاوز للسرعة متحركًا بسرعة 160 ميل في الساعة بالنسبة إلى عربة الدورية، مع أن هذا السائق المتجاوز للقانون يسير بسرعة 100 ميل في الساعة بالنسبة للأرض. ما يظهره الرادار عندما يقيس سرعة العربة المسرعة يعتمد على كيفية تحرك رجل البوليس: محصلة القياس تعتمد على الإطار المرجعي لضابط المرور.

إذا استبدلت السائق المتجاوز للسرعة بشعاع ضوء، فإن افتراض آينشتين بثبات سرعة الضوء يعادل بشكل عام القول بأن عداد سرعة السائق المتجاوز للسرعة سيكون دائمًا 100 ميل في الساعة. بصرف النظر عن الكيفية التي يتحرّك بها ضابط المرور. فالضابط الساكن سيرى السائق المتجاوز للسرعة يقترب بسرعة 100 ميل في الساعة ثم يبتعد بسرعة 100 ميل في الساعة. والضابط الذي يسير في اتجاه السائق نفسه المتجاوز للسرعة سيظلّ يرى هذا السائق يقترب بسرعة 100 ميل في الساعة وسيلتقط صورة للمخالفة بسرعة 100 ميل في الساعة. والضابط المتحرّك باتجاه السائق المتجاوز للسرعة سيرى أيضًا السائق يقترب منه ويبتعد عنه بسرعة 100 ميل في الساعة. كما لو كان السائق المتجاوز للسرعة يتجاهل كلّيًّا حركة رجل البوليس. من الواضح، أن هذا لا يحدث في الحياة الواقعية، وإلا فلن ينال أحد منا أبدًا مخالفة سير ولن يصبح للرادرا اليدوي أية قيمة.

بوضع مبدأ النسبية في الاعتبار، سيبدو أن فرضية ثبات سرعة الضوء لايمكن الدفاع عنها. فإذا كان لديك ثلاث رجال شرطة يتحركون جميعًا بشكلّ مختلف، ويقيسون شعاع الضوء نفسه في اللحظة نفسها، فوفقًا لفرضية ثبات سرعة الضوء التي تقول إنه بالرغم من أن حركتهم في اتجاهات مختلفة جدًا فإنهم جميعًا سيقيسون شعاع الضوء بالسرعة نفسها: 300.000.000 متر في الثانية. فكيف يحصل الملاحظون الثلاثة الذين يتحركون بشكل مختلف على القياسات نفسها، وفي الوقت نفسه، وفقا لمبدأ النسبية، كلّهم على صواب؟ وهو ما يبدو مستحيلًا.



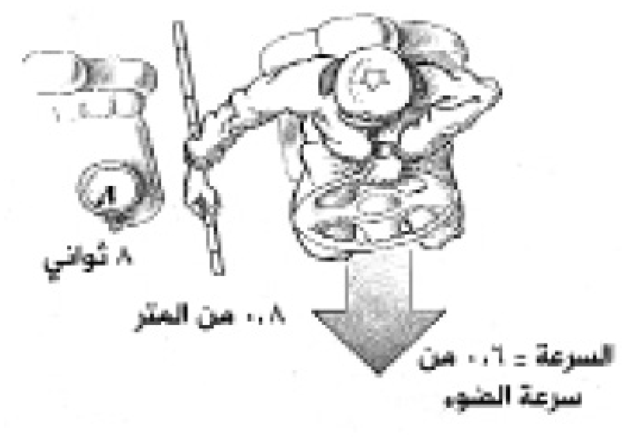
السائق المتجاوز للسرعة كما يرى من ثلاث نقاط مختلفة

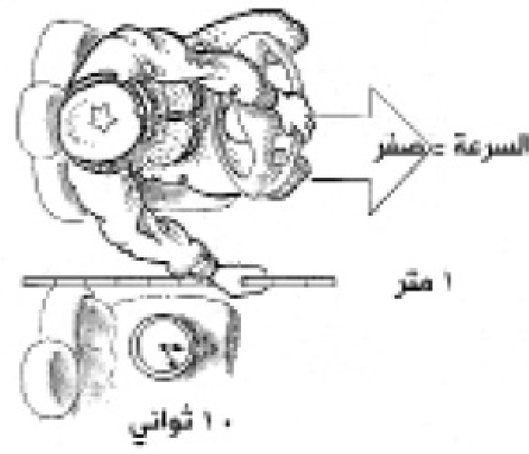
لكن هذا ممكن ومتّسق مع نفسه. فالملاحظون الثلاثة سيقيسون جميعًا سرعة الضوء نفسها، وهم جميعًا على صواب. وقد عززت القياسات المعاصرة ذلك بدقّة كبيرة. لا يهم إذا ما كان القمر الصناعي يقترب منك أو يبتعد عنك، فإشاراته تأتي إليك بالسرعة نفسها 300.000.000 متر في الثانية. كيف نستوعب هذا التناقض إذن؟

تكمن الإجابة في مفهوم السرعة، والمعلومات. فالسرعة ببساطة هي المسافة المقطوعة في مقدار معيّن من الزمن. لكنك لا تستطيع تقدير مدى سرعة الجسم المتحرّك بمعجزة، فعليك أن تقيس سرعته بطريقة ما. عليك بجمع المعلومات عن المسافة وعن الزمن، فترى مدى سرعة تحرك جسم (مستخدمًا المتر meterstick) في الثانية الواحدة (مستخدمًا الساعة). إذا كان ضباط المرور الثلاثة يقيسون سرعة شعاع الضوء، وكلّ واحد منهم يقوم بجمع المعلومات فعليًا بشكلّ مستقل، عن المسافة والزمن مع مراعاة أمتارهم وساعاتهم، فسيكون المخرج الوحيد للتناقض الظاهرى بسبب فرض آينشتين هو افتراض أن الساعات والأمتار تتأثر بالحركة. إن هذا سيرمى بالفرضيات القديمة عن الزمن والمسافة التي يبلغ عمرها آلاف السنين، فلم يعد بالمستطاع اعتبارهما كميتين موضوعيتين وثابتتين ولا تتغيّران. فالزمن والمسافة نسبيّان، إنهما يتغيّران حسب إطارك المرجعي. وعندما تتغّير مفاهيمك عن الزمن والمسافة سيؤثّر ذلك على طريقة قياسك للسرعات.

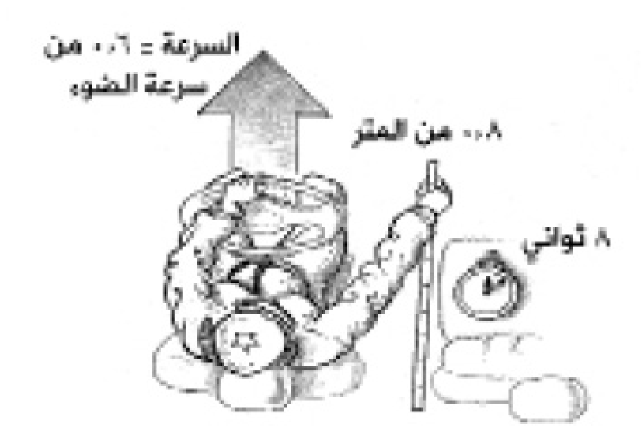
بالعودة إلى السائق المتجاوز للسرعة. افترض، للحظة، أن هذا السائق شعاع ضوء. وأن ثلاثة رجال شرطة خارقين supercops، يتحرّكون في اتجهات مختلفة (قل إن واحدًا ساكن، واثنين يتحرّكان في اتجاهين متضادين بثلاثة أخماس سرعة الضوء أو 0.6 من C)، إذا قاموا بقياس سرعة السائق المتجاوز للسرعة، فسوف يجيئون جميعًا بالإجابة نفسها: سرعة الضوء، C، هي 300.000.000 متر في الثانية. لماذا هذا؟ لأن كلّ رجل شرطة سيقيس الزمن والمسافة، وستكون الأمتار والساعات مشوهة. عندما ينظر الشرطي الساكن إلى متره سيرى أن طوله طبيعي، وعندما يستمع إلى ساعته سيرى أنها تتكتك بالمعدل المعتاد. لكن عندما، ينظر للشرطيين المتحركين بسرعة 0.6 من C، سيرى أن متر كلّ منهما قد تقلص بنسبة 20%: وأصبح طول كلّ واحد 80 سنتيمتر بدلًا من 100 سنتيمتر كاملة! الأكثر من ذلك، سيرى أن ساعتي الشرطيين المتحركين قد تباطأتا، سيلاحظ أن ساعتي الشرطيين المتحركين قد تكت كلّ منهما 8 ثوانٍ فقط.

«آها! ها هنا المشكلّة»، سيفكّر الشرطي الساكن هكذا «عندما أقيس سرعة الضوء، أحصل على الإجابة الصحيحة لأن متري وساعتي يعملان بشكل صحيح. لكن الشرطيين المتحركين يحصلان على نتيجة غير صحيحة لأن إحساسهم بالمسافة والزمن مشوّه». وسيثبت في النهاية أن هذا التشوّه في المسافة والزمن ـ إدراك أن ساعتَي الشرطيين بطيئتان ومتريهما قصيران ـ سيجعل الثلاثة قياسات متوافقة: فالشرطي الساكن يقيس حركة السائق المتجاوز للسرعة عند C تمامًا مثل كل من الشرطيين المتحرّكين بمتريهما القصيرين وساعتيهما البطيئتين(********). لذا، فمن وجهة نظر الشرطي الساكن، سيحصل الشرطيان المتحركان على إجابة صحيحة، C، لكن بعد وضع تشوه متريهما وساعتيهما في الحسبان.





(من وجهة نظر رجل المرور الساكن)



ثلاثة رجال شرطة نسبيون

الغريب أنه لا أحد من الشرطيين المتحركين سيلاحظ انكماش متره أو تباطؤ ساعته. في الحقيقة، عندما ينظر كلّ شرطي متحرّك إلى متره وإلى ساعته، سيبدو كلّ شيء طبيعيا، لكن عندما ينظر كلّ واحد إلى متري وساعتي الشرطيين الآخرين، سيرى أن المترين ينكمشان والساعتين تتباطآن. لذا فكلٌ من الشرطيين المتحركين يفكر، «آها! ها هنا المشكلة» وسيلقي باللوم على تشوّه متري وساعتي زميليه للحصول على الإجابة الصحيحة بطريقة خاطئة.

انكماش الأمتار؟ تباطؤ الساعات؟ يبدو الأمر سخيفًا، لكنّه قد لوحظ. فعلى سبيل المثال، يرى علماء الفيزياء الجزيئية الساعات تتباطأ طوال الوقت. وبعض الجسيمات تحت الذرية، مثل جزيئات الميون muon أو التو tau، التي تعتبر أقارب الإلكترون الأثقل، لديها فقط وقت قصير للحياة قبل أن تتحلل تلقائيًا إلى جسيمات أكثر استقرارًا. (الميون مثلًا يعيش في المتوسط حوالي جزأين من مليون جزء من الثانية) داخل المعجّل الجسيمي particle accelerator، مع أن الميون ينتقل غالبًا بسرعة أكبر من 99% من سرعة الضوء، ونتيجة لذلك فإن ساعته الداخلية تتباطأ بالنسبة إلى ساعة المختبر. بما يعني أن الميون يعيش أكثر كثيرًا ممّا لو كان في حالة السكون. إن مستقبلات receivers نظام تحديد المواقع العالمي، التي تستشعر إشارات الساعة القادمة من الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض، عليها أن تأخذ في الحسبان تباطؤ الساعة وفقًا للنسبية عند حساب الموقع. وبشكل أكثر مباشرة، قام عالمان في عام 1971 بإطلاق أربع ساعات ذرية إلى الخارج على متن طائرات تجارية نفاثة. وبسبب حركتها النسبية للأرض، فإن الساعات لم تكن متوافقة بعد الرحلة. انكماش الطول وتمدّد الزمن، تمامًا مثل التأثيرات الأخرى الغريبة المؤيّدة للنسبية كزيادة الكتلة عند السرعات العالية، هي كلّها أمور حقيقية. لقد تم ملاحظة ذلك، وتوافقوا جميعًا بشكل رائع مع نظرية النسبية.

إن فرضي آينشتين، مبدأ النسبية وثبات سرعة الضوء، كان لهما الكثير من التبعات العجيبة، مع أن هناك تماثلًا جميلًا مع النظرية. ربّما يكون لدى الملاحظين وجهات نظر مختلفة حول العالم ـ ربّما لا يتفقون حول الطول والزمن والكتلة والأشياء الأساسية الأخرى ـ لكنّهم جميعًا على صواب في الوقت نفسه.

بكلمات أخرى، تقول نظرية آينشتين في جوهرها، إنه لا يمكنك فصل الإدراك ـ المعلومات التي تجمعها من بيئتك ـ عن الواقع. إذا قام ملاحظ بجمع معلومة صحيحة عن شيء (مدى سرعة سائق مسرع على سبيل المثال)، فتلك المعلومة ستكون صحيحة. لكن لوهلة، ستكون صحيحة فقط من وجهة نظره. الملاحظون المختلفون الذين يقومون بالقياسات نفسها ويجمعون المعلومات نفسها، سيحصلون غالبًا على إجابات مختلفة. ربما يحصلون جميعًا على أرقام مختلفة عن سرعة تحرّك جسم ما، وطوله، ومقدار وزنه، أو مدى سرعة تكتكة ساعته. مع ذلك، فمعلومات أي ملاحظ ليست أكثر أو أقل صحة من معلومات الملاحظ الآخر. معلومات كلّ واحد صحيحة بدرجة متساوية، حتّى لو بدت الإجابات عن أسئلة الكتلة والطول والسرعة والزمن متعارضة فيما بينها. يبدو من الصعب قبول ذلك، لكن معادلات النسبية العامة تعمل هنا بشكل جميل. إذا كنت تعرف كيف يتحرك كلّ مراقب، يمكنك استخدام المعادلات للتكهن بالضبط بما يراه كلّ مراقب، وبكلمات أخرى، ستكون قادرًا على أخذ المعلومات التي جمعتها واستخدام المعادلات في حساب ما يراه المراقبون الآخرون. هذا هو مفتاح فهم النسبية، الملاحظون المختلفون يمكنهم أن يسألوا الاسئلة نفسها عن الظاهرة نفسها ويحصلون على ما يبدو أنه إجابات مختلفة. لكن قوانين النسبية تتحكّم في

قوانين نقل المعلومات من ملاحظ إلى ملاحظ وتخبرك كيف أن اختلاف الملاحظين سيفسر الظاهرة نفسها بطرق مختلفة.

الطريقة الأنيقة التي تعمل بها المعادلات بدون ذكر الملاحظات التي تشرحها، أقنعت علماء الفيزياء أن آينشتين كان على صواب. وفي بدايات العشرينيات من القرن الماضي، انتشرت شائعة أن تجربة أكثر حساسية من تجربة مايكلسون ـ مورلى قد اكتشفت الإشارة الخافتة للأثير الضوئي، وبالتالي تدحض نظرية النسبية. كان ردّ فعل آينشتين الشهير «الربّ ماكر، لكنّه ليس شريرًا Subtle is the lord, but malicious he is not». كان آينشتين، مثل العديد من علماء الفيزياء في هذا الوقت مقتنعًا تمامًا في صحة النظرية. وكانت النسبية أجمل من أن تكون على خطأ.

ومع ذلك، فهناك شيء يتمتّع به الفيزيائيّون أكثر من بناء نظرية جميلة ـ إنه هدم النظرية الجميلة لشخص آخر. وقد حاول الكثير من الناس تدمير نظرية آينشتين. ولأن الاختبارات التجريبية للنسبية يصعب إجراؤها (بعض توقّعات النسبية العامة لم تختبر حتّى الآن بسبب هذه الصعوبة)، فإن الباحثين النظريين قد هاجموا نظرية آينشتين بوسيلة أخرى: تجربة التفكير thought experiment.

ففي تجربة التفكير، يقوم عالم الفيزياء بإعداد سيناريو ثم يقوم بمحاولة حلّه باستخدام قوانين النظرية التي يختبرها. فإذا كانت النظرية بها ثغرة وكان عالم الفيزياء ماهرًا بدرجة كافية، سيتمكّن من إعداد سيناريو يسبّب تناقضًا داخليًّا عند النقطة التي تتعارض فيها النظرية مع نفسها. إذا حدث هذا كانت النظرية غير متّسقة، ويجب أن تكون خاطئة. وإذا كانت النظرية سليمة، مع أن السيناريو المتناقض ظاهريًّا لديه تفسير متّسق، فسيعمل كلّ شيء بنجاح في النهاية. (عفريت ماكسويل كان بالأساس تجربة تفكير، لكنّه لم ينه مشاكل الديناميكا الحرارية).

آينشتين نفسه كان يحبّ تجارب التفكير وقد استخدمها في محاولة هدم نظريات الآخرين (كما سنبيّن في الفصل التالي). مع النسبية، كانت الحالة معكوسة. فكان على آينشتين تأكيد صحّة تجارب التفكير للعلماء الآخرين. واحدة من أكثر تلك الحيل هي ما سندعوه التناقض الظاهري للرمح داخل الحظيرة.

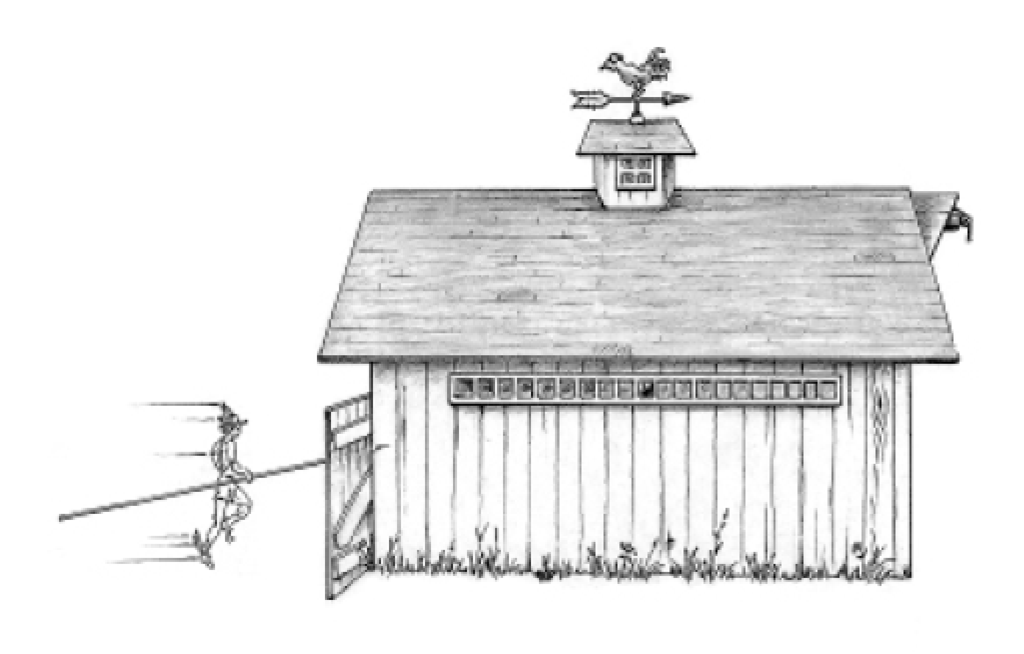
تخيّل أن عدّاء معه رمح طوله خمسة عشر مترًا. ويعدو باتجاه حظيرة طولها خمسة عشر مترًا لها بابان ـ باب أمامي وباب خلفي. في لحظة البداية يكون الباب الأمامي مفتوحًا والباب الخلفي مقفولًا.

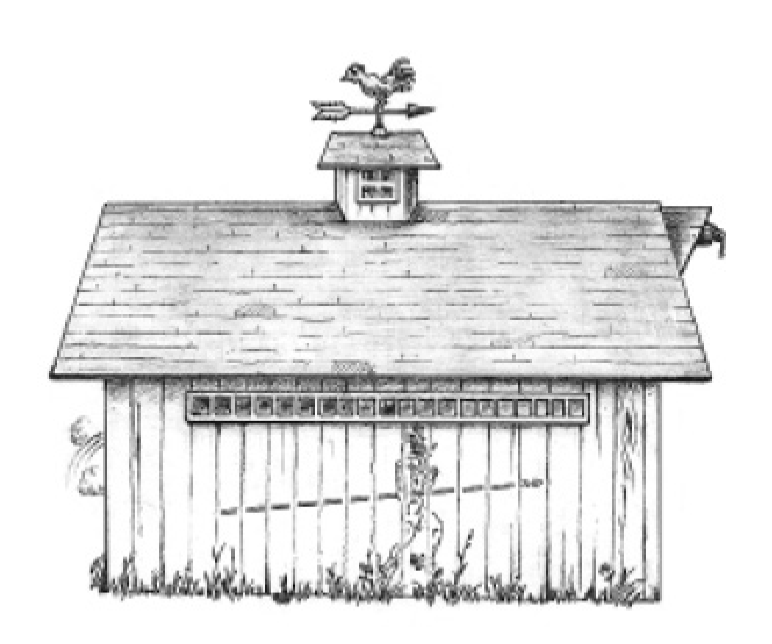
افترض أن هذا العدّاء بارع حقًّا وسيمكنه العدْو بـ 80% من سرعة الضوء، مندفعًا إلى الحظيرة. من وجهة نظر ملاحظ ساكن وموجود فوق سقف الحظيرة، فإن رمح العدّاء قد انكمش (بسبب التأثير «المتوافق مع النسبية» على رمح العداء). في الواقع، سيبلغ طول الرمح ذو الخمسة عشر مترًا، تسعة أمتار فقط. إذا كان يمكن للملاحظ فوق السقف أن يقوم بالتقاط صورة للرمح أو قياسه بأية طريقة أخرى، فسيرى أن طوله تسعة أمتار فقط، مع أن الحظيرة ظلّت ثابتة على حجمها الأصلي، خمسة عشر مترًا.

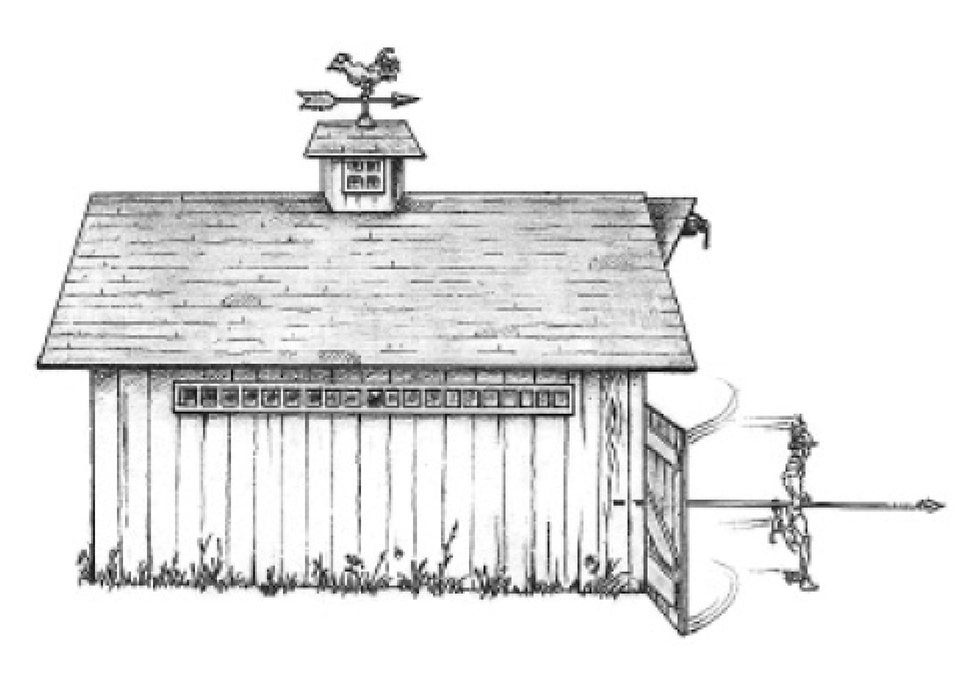
بكلمات أخرى، إذا حاول الملاحظ الساكن الحصول على معلومة عن طول الرمح، فسيكتشف أن طوله تسعة أمتار. وكما تقول نظرية آينشتين، المعلومات حقيقة. إذا كانت أداة القياس (الدقيقة)

تقوم بجمع معلومات عن الرمح تظهر أن طول الرمح تسعة أمتار، فسيكون طوله تسعة أمتار، ولايهم إذا ما كان قد انطلق وطوله خمسة عشر مترا.

الرمح الذي يبلغ طوله تسعة أمتار يتناسب بالضبط مع حظيرة طولها خمسة عشر مترًا، فيمكن لجهاز حسّاس إلكتروني أن يغلق الباب الأماميّ بمجرد دخول الرمح كاملا إلى داخل الحظيرة. وللحظة، سيكون الرمح كلّه محصورًا في الحظيرة، وسيكون البابان مغلقين. ثم، بمجرد وصول مقدمة الرمح إلى نهاية الحظيرة، فإن جهازًا حسّاسًا آخر سيفتح الباب الخلفي ليخرج الرمح، حتّى الآن الأمر جيّد.







التناقض الظاهري للرمح داخل الحظيرة من وجهة نظر الملاحظ الساكن

لكن الأمور ستكون عجيبة حقًّا عندما تنظر إلى الأحداث من وجة نظر العداء نفسه. فمن منظوره، تندفع الحظيرة نحوه بسرعة 80% من سرعة الضوء. إذا كان يقوم بجمع معلومة عن طول الحظيرة، فسيرى أنه فقط تسعة أمتار ـ وهو إدراك واقعي. حتّى بالرغم من أن رمحه يظهر بطول خمسة عشر مترًا كاملة، فإن المعلومات لديه ستقول إن الحظيرة طولها تسعة أمتار فقط، لذا فالرمح لا يتناسب مع الحظيرة! فكيف، حينئذ، سيغلق كلا البابين في الوقت نفسه؟

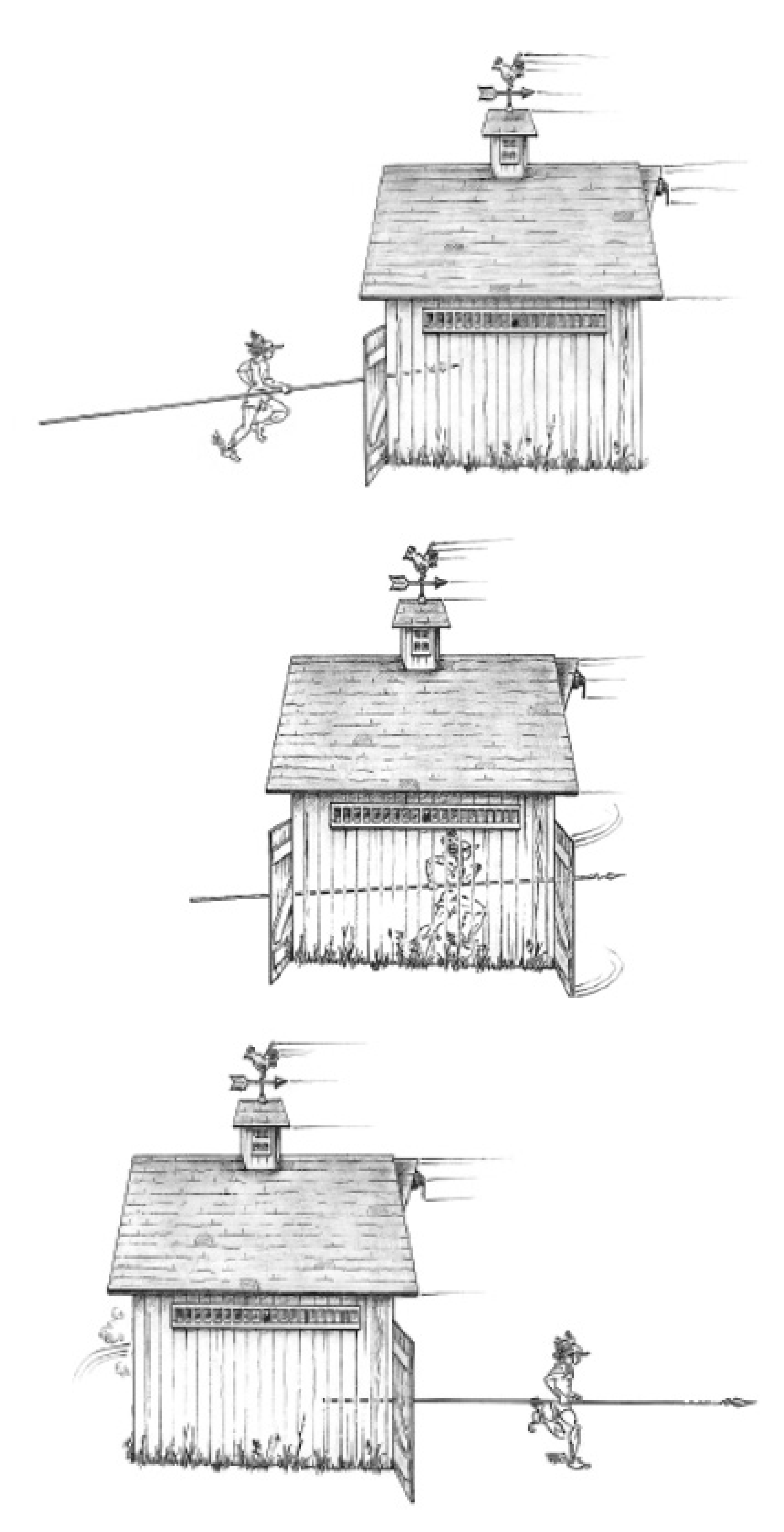
تتخفّى الإجابة في الكلمة الأخيرة من السؤال. إن حلّ هذا التناقض الظاهري له علاقة بالوقت، لكنّه حلٌّ أكثر تعقيدًا قليلًا من مجرد تباطؤ الساعة. فأحد الأثار الجانبية للنسبية هو أن مفهوم التزامن ـ حدوث شيئين في الوقت نفسه ـ يتحطّم. ويمكن لملاحظين مختلفين ألا يتوافقوا على إذا ما كان الحدثان قد حدثا في الوقت نفسه، أو إذا ما كان حدث قد حصل قبل الآخر والعكس بالعكس.

في هذه الحالة، الحدثان محلّ التساؤل هما (1) غلق الباب الأمامي (2) فتح الباب الخلفي. من وجهة نظر الملاحظ الساكن فوق السقف: يجري العدّاء إلى داخل الحظيرة، (1) الجهاز الحسّاس يغلق الباب الأمامي، يكون العدّاء بالداخل، ثم (2) الجهاز الحسّاس في الخلف يفتح الباب الخلفي، تاركًا الرمح يخرج. لكن من وجهة نظر العدّاء، فإن ترتيب الأحداث سيكون معكوسًا: فهو يجري إلى داخل الحظيرة ثم (2) الباب الخلفي يفتح عند وصول مقدّمة الرمح إلى نهاية الحظيرة ويشغل الجهاز الحسّاس في الخلف، ويستمرّ مواصلًا، وعندها (1) الباب الأمامي سيغلق بمجرد مرور مؤخّرة الرمح على حافّة الباب الأمامي مشغلة الجهاز الحساس الأمامي.

لا يتّفق العدّاء والملاحظ الساكن فوق السقف على ترتيب الأحداث. لكن رياضيًّا يتّسق الملاحظان بعضهما ببعض. فالجهازان الحساسان مستقلان، ولا يوجد سبب محدّد لكي يعمل أحدهما قبل الآخر. ففي إطار مرجعي واحد، الجهاز الحسّاس الأمامي يشتغل أولا، وفي الإطار المرجعى الآخر الجهاز الحسّاس الخلفي يشتغل أولًا. مرة أخرى، المسألة كلّها هي نقل المعلومات.

لا تذهب المعلومات من مكان إلى مكان من فورها، فهي تنتقل بسرعة الضوء غالبًا. بما يفيد أن مفهوم «التزامن» لا يعني شيئًا في الحقيقة، لأنه لا بدّ أن تأخذ في اعتبارك حقيقة أن المعلومة تأخذ وقتًا لتنتقل إلى الملاحظ. وأن حركة الملاحظ سوف تؤثّر على ترتيب وصول المعلومة إليه. فمعلومة أن الباب الأمامي يغلق ومعلومة أن الباب الخلفي يفتح ربّما تصلان إلى ملاحظ واحد في الوقت نفسه، ولملاحظ ثانٍ ربما تصل معلومة «غلق الباب الأمامي» أولًا، إلا أنّه بالنسبة لملاحظ ثالث، فإنّ معلومة فتح الباب الخلفي ربما ستأتي أولًا. الملاحظون الثلاثة لن يتوافقوا على ما إذا كان الباب الأمامي يغلق أولًا أم أن الباب الخلفي يفتح أولًا أم أن كلا الحدثين يحدثان في الوقت نفسه. فأيّ منهم على صواب؟ إنهم جميعًا كذلك.

التناقض الظاهري للرمح داخل الحظيرة من وجهة نظر الملاحظ المتحرّك



التناقض الظاهري للرمح داخل الحظيرة من وجهة نظر الملاحظ المتحرّك

تقول نظرية النسبية لآينشتين إن الحدث event «يحدث» فقط من منظورك عندما تصل إليك المعلومة عن حدوث ذلك الحدث. الحدث لا يحدث حقًّا حتّى تصل تلك المعلومة (منتقلة بسرعة الضوء) عابرة المسافة من الحدث اليك. ومرّة أخرى، أن الإدراك ـ والمعلومات حقيقة. هذا هو ما يسبّب تحطّم التزامن، لأن الملاحظين الثلاثة يحصلون على المعلومة بترتيب مختلف، وفي الحقيقة كذلك فإن الأحداث التي يلاحظونها تحدث بترتيب مختلف لكلّ من الملاحظين الثلاثة. إنه مفهوم غريب، لكن تحطّم التزامن في نظرية النسبية مجرّد شيء على علماء الفيزياء التعايش معه، فهو لا ينتهك أية مبادئ غير انكماش الطول وتمدّد الزمن. وهكذا تمّ تجنّب الأزمة.

فهل نستطيع استخدام تحطّم التزامن هذا لنأتي بسيناريو مستحيل؟ يمكن أن نحاول بالتأكيد. على سبيل المثال، يمكننا تعديل تجربة التفكير قليلًا لنحاول فرض التناقض. فبدلًا من أن يكون لدينا جهازان حساسان، واحد في مقدّمة الحظيرة وواحد في الخلفية، وكلّ واحد يقوم بتشغيل الباب الخاصّ به. تخيّل أن هناك فقط جهازًا حسّاسًا واحدًا في المقدّمة. عندما يشعر الجهاز بأن نهاية مؤخّرة الرمح قد مرّت بالحافّة، فإنه يصفع الباب الأمامي ويرسل إشارة إلى الباب الخلفي لكي يفتح. ولجزء من الثانية، يجب أن يكون كل من الباب الأمامي والباب الخلفي مغلقين في الوقت نفسه قبل أن يفتح الباب الخلفي. لم تعد الأحداث مستقلّة بعد الآن، لأنه وبمعنى ما، غلق الباب الأمامي يتسبّب في فتح الباب الخلفي. إن مبادلة الترتيب لهذين الحدثين سيكون انتهاكًا لقوانين الفيزياء.

ذلك لأنه يجب الحفاظ على السببية حتّى في عالم النسبية المقلوب رأسًا على عقب. تخيّل أن قاتلًا أطلق رصاصة على جنرال، ستصطدم الرصاصة بالجنرال وتقتله. فإذا لم يتم إطلاق المسدس، فلن يموت الجنرال. لكن إذا كان هناك ملاحظٌ قريبٌ يتحرّك بسرعة تمكّنه من رؤية الطلقة تصطدم قبل إطلاق المسدس، ربّما كان بإمكانه انتزاع المسدس من يد القاتل قبل أن يطلق الرصاص. ربّما كان قادرًا على منع الاغتيال الذي رآه للتوّ! كما لو أنه سافر إلى الوراء في الزمن وقام بتغيير الماضي. هذا ليس له أي معنى، حتّى في نطاق الفيزياء المعاصرة الغريب.

هناك حدود لإعادة ترتيب الأحداث في النسبية. إذا تسبب الحدث (1) في الحدث (2)، لا يمكن بأي حال من الأحوال أن يستطيع الملاحظ رؤية الحدث (2) قبل الحدث (1)، فيقال إن هذين الحدثين في علاقة سببية. حتّى مع الأخذ في الاعتبار تشوّه الزمن في النسبية، فالمسافر المتحرّك بسرعة أقرب من سرعة الضوء لن يرى أبدًا الأحداث المتصلة سببيًّا معكوسة. لن يرى أبدًا ولادتك قبل أن يرى ولادة أمّك، فولادة أمّك يجب أن تأتي قبل ولادتك. لأن وجود أمّك هو سبب ولادتك. وبالمثل، في تناقض الرمح والحظيرة الظاهري والمعدّل، فإن غلق الباب الأمامي سيتسبب في فتح الباب الخلفي. لذلك، من أية وجهة نظر ـ سواء الملاحظ الساكن أو العدّاء ـ يجب أن يفتح الباب الخلفي بعد الباب الأمامي. فلْنُعِد تشغيل السيناريو، بهذا الجهاز الحسّاس المعدّل.

من وجهة نظر العدّاء، الباب الخلفي يفتح فقط عندما يتم تشغيل الجهاز الحسّاس الأمامي ـ عندما تتجاوز مؤخّرة الرمح حافّة الباب الأمامي. الجزء الأمامي من ذلك الرمح، الذي يبلغ طوله خمسة عشر مترًا، سينسحق على الباب الخلفي قبل أن يقوم بتشغيل الجهاز الحسّاس الذي يغلق الباب الأمامي. وتكون المحصّلة تصادمًا، على الأقل من وجهة نظر العدّاء.

آها! يبدو الآن كما لو أننا ضبطنا آينشتين محصورًا في ركن ضيق لأنه، وكما في السابق، سيبدو ممكنًا من وجهة نظر الملاحظ الساكن أن الرمح يتناسب جيّدًا مع الحظيرة، بما يمنح وقتًا كافيًا لفتح الباب وتفادي الاصطدام. عند إطار مرجعي واحد هناك ارتطام قوي، وعند آخر لا شيء! وهذا تناقض أو هكذا يبدو. هناك مخرج من هذا المأزق، إنها البراعة الإضافية التي ينبغي علينا وضعها في الحسبان. وهنا تبدأ نظرية المعلومات في الإفصاح عن نفسها.

الجهاز الحسّاس الموضوع على الباب الأمامي للحظيرة عليه إرسال إشارة إلى الباب الخلفي لكي يفتح. عليه أن ينقل المعلومة ـ الأمر بالفتح ـ من مقدّمة الحظيرة إلى مؤخّرة الحظيرة. على الأقل بتة واحدة من المعلومات يجب أن تنتقل من مقدّمة الحظيرة إلى الخلف، والمعلومات لا تستطيع السفر من مكان إلى مكان في الحال، لأن المعلومات لها وجود مادّي، فانتقال تلك البتة سيتطلّب وقتًا. وحسب الإطار المرجعي للملاحظ الساكن، فإن الجهاز الحسّاس الأمامي سيصفق الباب ويرسل رسالة إلى الباب الخلفي. مع ذلك، فإن مقدّمة عصا العدّاء بطول تسعة أمتار ستبدأ بالاقتراب من الباب الخلفي بسرعة 80% من سرعة الضوء، إنها أسبقية يصعب تجاوزها. في الواقع، إذا لم تسافر الرسالة بأسرع من سرعة الضوء، فلا مجال لقطع المسافة بسرعة كافية. الإشارة إلى الباب الخلفي ستصل متأخّرة جدًّا: وسيرتطم الرمح بالباب قبل أن تصل الرسالة. لذا، حتّى من وجهة نظر الملاحظ الساكن سيكون هناك تصادم مجلجل. سيتفق كلا الملاحظين على قطع المسافة. تم تفادي المفارقة. تفاديها، وهذا هو الأمر، طالما لا يمكن للمعلومة أن تنتقل بأسرع من سرعة الضوء.

تظل نظرية آينشتين صلبة ـ لكن فقط عندما يكون هناك حدٌّ لمدى سرعة انتقال المعلومات. إذا أمكن، بشكل ما، انتقال المعلومات بأسرع من سرعة الضوء، ستنهار السببية وسيمكنك إرسال رسالة إلى الماضي والتأثير في المستقبل. لكن طالما أن المعلومات ملتزمة وتتحرّك بسرعة الضوء أو أقل، فإن نظرية آينشتين ستكون متسقة تمامًا.

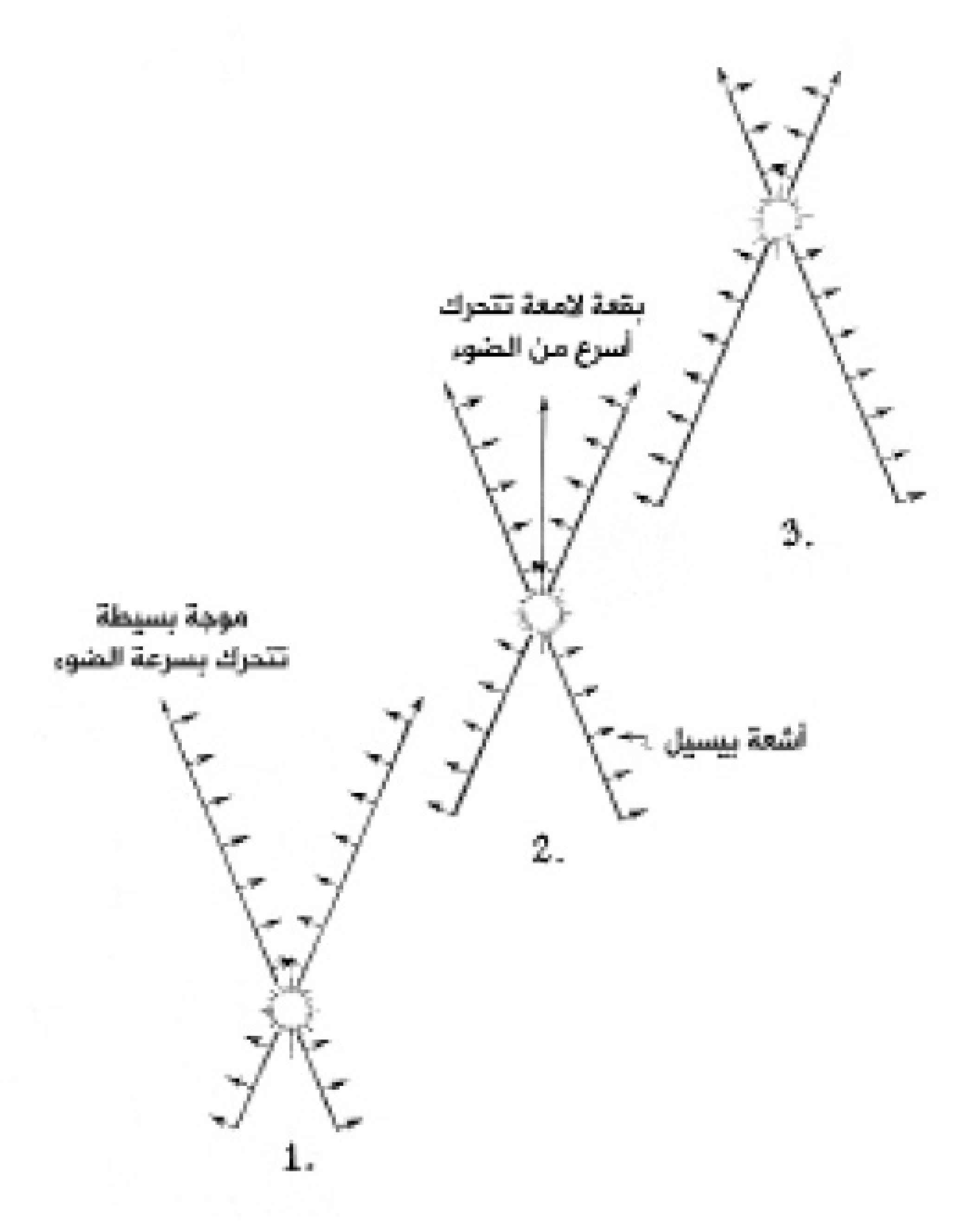
هذا هو تعليل القول المأثور «لا شيء يمكن أن يمضي بأسرع من الضوء»، لكن في الواقع، هذا القول المأثور هو إفراط في التبسيط. فبعض الأشياء يمكنها أن تذهب أسرع من الضوء. حتّى الضوء نفسه يمكن أن يتجاوز سرعة الضوء، بمعنى ما فإن القاعدة الحقيقية هي أن المعلومات لا تستطيع السفر أسرع من سرعة الضوء. لا يمكنك أخذ بتة من المعلومات وأن تقوم بنقلها وجعلها تصل إلى المستقبل أسرع ممّا يستطيع شعاع الضوء قطع الرحلة نفسها، وإلّا فستنهار السببية. ترتيب الأحداث في الكون لن يكون له معنى بعد ذلك، إلا إذا كنتَ قادرًا على بناء آلة الزمن time machine وعلى أن تُولَد قبل أمِّك.

التناقض الظاهري الذي يبدو في النسبية يتوقّف على نقل المعلومات وحركتها، والنسبية في جوهرها هي نظرية عن المعلومات. أحيانًا تكون قواعدها بارعة بشكل لا يُصدّق، لكنّها صامدة بالرغم من جحافل العلماء الذين حاولوا طوال القرن الماضي إيجاد الثغرات بها. إن لغز السفر بأسرع من الضوء هو لغز المعلومات. وتلك هي مشكلة السفر عبر الزمن.

في معمل متواضع بنيو جيرسي، بنى العلماء أول آلة للزمن. ليجون وانج Lijun Wang، عالم الفيزياء في معهد أبحاث NEC خارج برينستون، أرسل نبضة ضوئية أسرع من سرعة الضوء وأجبرها على الخروج من الحجرة قبل أن تدخلها أصلًا.

تلك ليست مزحة. فقد نشر هذا في المجلّة المدقّقة «الطبيعة» Nature في عام 2000 وأعيد تكرار التجربة في عدد من المختبرات في أنحاء أمريكا. إنها تجربة ليست بالغة الصعوبة حتّى يتم تنفيذها: كلّ ما تتطلّبه حجرة مملوءة بالغاز وليزر وساعة موقوتة مضبوطة جدًّا. وبينما كان عمل وانج مثالًا أكثر دراماتيكية لتحطيم سرعة الضوء، إلّا أنه ليس الوحيد. فبالكاد قبل شهر من تجربة وانج، استخدم عالم فيزياء إيطالى بناءً هندسيًّا متقنًا للحصول على شعاع ليزر يتجاوز سرعة الضوء. وقبل نصف عقد من ذلك استخدم رايموند شياو Raymond Chiao عالم الفيزياء في جامعة كاليفورنيا ببريكلى Berkeley، خاصية عجيبة للميكانيكا الكمّية تُدعى التنفيق tunneling لجعل نبضة ضوئية تذهب أسرع من سرعة الضوء.

أسهل ما أجري من تجارب الأسرع من الضوء faster-than-light experiment ويمكن فهمها، هي التي نفذت في إيطاليا عام 2000. ففي هذه التجربة قام أنيديو رانفانْي Anedio Ranfagni وزملاؤه بمجلس الأبحاث القومي في فلورنسا بإيطاليا، بأخذ أشعّة المايكرويف microwave، ثم قاموا بتمريرها خلال حلقة، وجعلها ترتد عن مرآة منحنية لإحداث ما يسمّى حزمة بيسيل Bessel beam من ضوء المايكرويف. بالنظر من أعلى، ستتقاطع حزمة بيسيل في مستويات موجية مثل العلامة X. راقب العلماء حركة التقاطعات X التي تتحرّك أسرع من سرعة الضوء بنسبة 7%، وبدا كما لو كانت ترسل شيئًا ـ التقاطع ـ أسرع من C. (هناك طريقة سهلة لرؤية ما حدث، وذلك بعمل علامة X بإصبعي السبّابتين وجعلهما متوازيين تقريبًا، باعد يديك بعضهما عن بعض ببطء وسترى أن التقاطع سيحرّك أصابعك بسرعة أكثر من السرعة التي تتباعد بها يداك بعضهما عن بعض) لكن ماذا يحدث إذا حاولت أن ترسل رسالة بهذا المخطّط؟ هل ستذهب بأسرع من الضوء؟

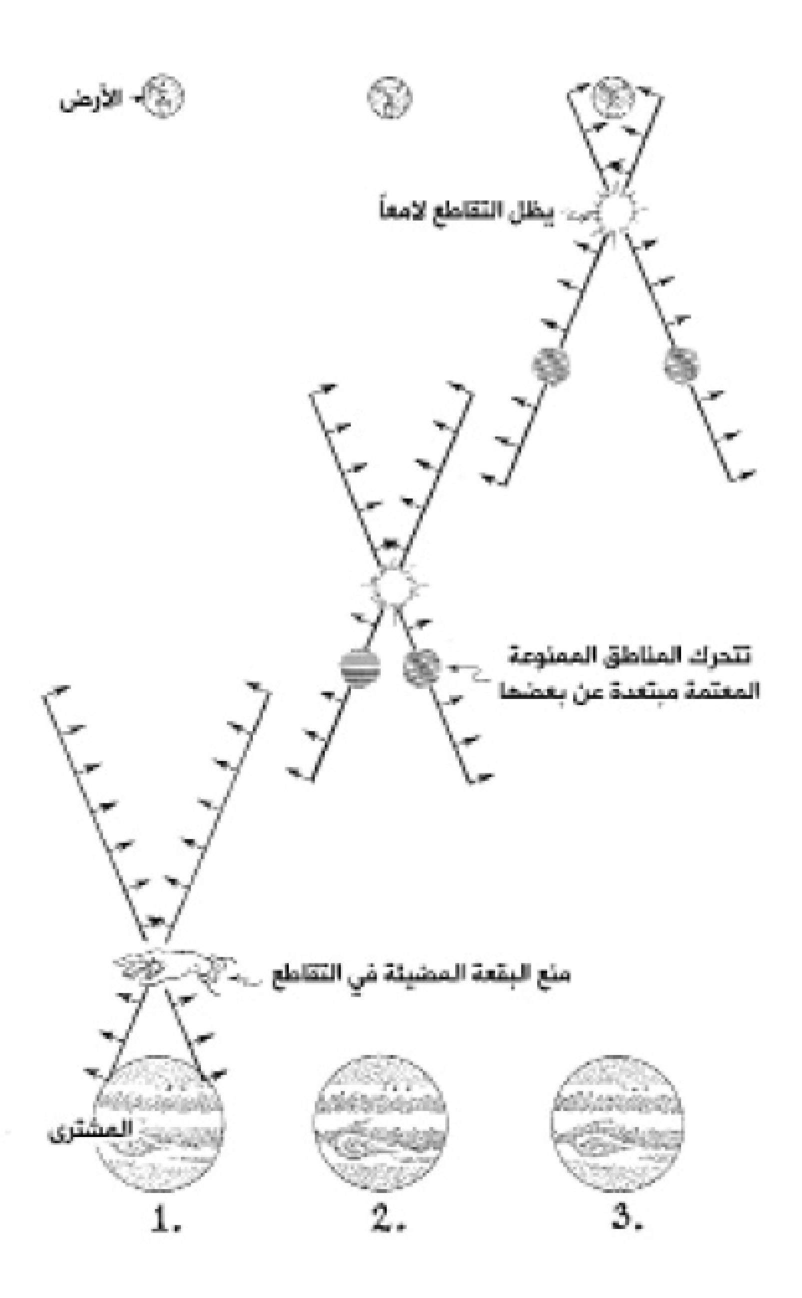


بقعة لامعة تتحرك
أسرع من الضوء
موجة بسيطة
تتحرك بسرعة الضوء
أشعة بيسيل
1.
2.
3.

أشعّة بيسيل

لا بدّ هنا من استدعاء آينشتين، فالإجابة هي لا. تخيّل، على سبيل المثال، أن آليس Alice حارسة على كوكب المشترى، وعندما تكشف غزو قوة من المخلوقات لها عيون خنفساء من ألفا القنطور Alpha Centauri، ستحتاج لإرسال كلمة إلى الأرض. ولحسن حظها، فإنّ خطّ اتصال حزمة بيسيل منصوب بالفعل بين المشترى والأرض، ولاستخدامه ستحتاج لإرسال بتة واحدة من المعلومات، كتحذير. فأي تغيير مفاجئ في الإشارة ـ كأن يومض الشعاع فجأة، على سبيل المثال سيكون كافيًا، وعندما يبرق الشعاع مرة، سيرسل إشارة لنقل بتة المعلومات. بما يفيد قدوم الجنود الدخلاء.

يمكن لآليس أن تشوّش على الشعاع بوضع يدها في مركز الشعاع، لكي تمتص الضوء وتجعل نقطة التقاطع تمضي مظلمة. ولأن التقاطع يتحرّك أسرع من الضوء، ألا يجب على تلك البقعة المظلمة أن تنتقل على الشعاع بأسرع من الضوء، أيضًا؟. حسنًا فالإجابة هي لا، لأن طريق الأشعّة مجهّز ـ الموجات المستوية تتحرّك بزاوية، حتّى مع أن التقاطع يتحرّك بشكل مستقيم على الأرض ـ بحيث تتحرّك البقعة المظلمة مبتعدة عن مركز الشعاع، والتقاطع ذاته يبقى مضيئًا. إذا راقب شخص ما الأشعّة من فوق الأرض فلن يتمكّن من رؤية مركز الشعاع يبرق أبدًا، لا يهمّ كيف حرّكت آليس يديها على تقاطع الشعاع فوق المشتري، فالشعاع لن يبرق على الأرض. لقد فقدت البتة، أرسلت إلى الفضاء الخارجي بسرعة الضوء، ولا أحد سيتمكن على الأرض أبدًا من استلام رسالة آليس. برغم أن التقاطع يتحرّك بأسرع من سرعة الضوء، فإنه لا يستطيع أن يحمل البتة. إنه لا يحمل أي معلومة.



محاولة إرسال رسالة على أشعّة بيسيل

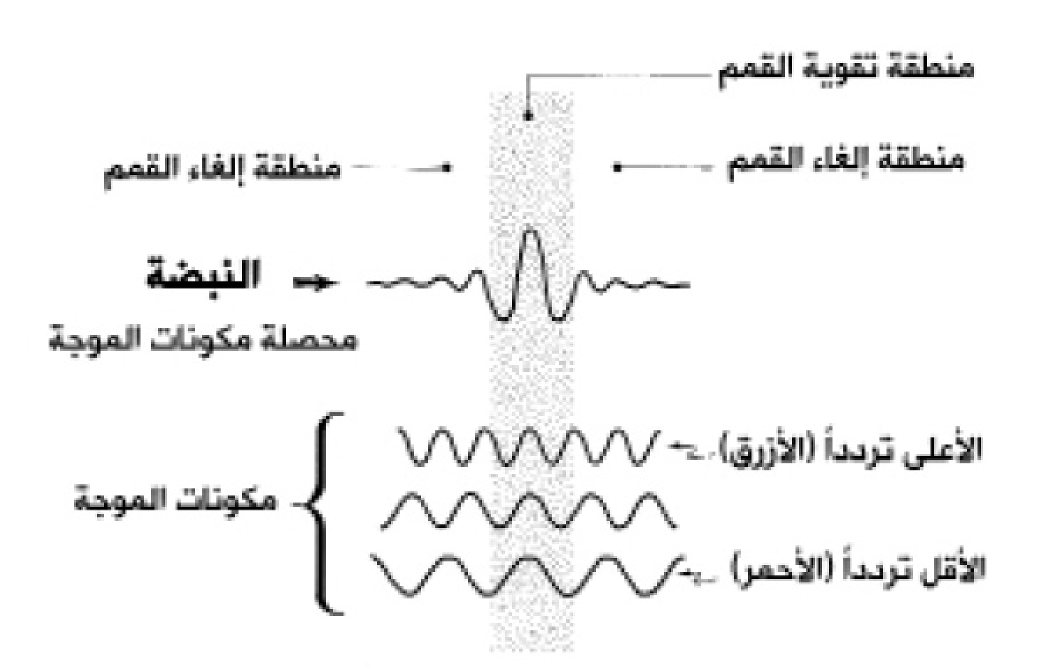
ومع ذلك، فهناك خيار آخر لآليس. إذ يمكنها حجب البقعتين على الشعاع الذي سينتهي متقاطعًا على الأرض. في تلك الحالة، بينما تتحرّك موجات الضوء، فإن البقعتين تتحرّكان أقرب وأقرب معًا أثناء انتقالهما للأرض، وفي نهاية المطاف ستتقاربان على الجهاز المستقبل الذي سيرى فجأة الشعاع مطفأ. في هذه الحالة، ستستقبل الأرض بتة واحدة من المعلومات ـ لكن تلك المعلومة تتحرّك فقط بسرعة مثل سرعة الضوء. تذكّر أن الموجات المستوية نفسها تتحرّك فقط بسرعة الضوء، التقاطع هو «الشيء» الوحيد الذي يتحرّك بأسرع من سرعة الضوء. البقع المحجوبة على الشعاع لا بدّ أن تسافر بسرعة الضوء باتجاه الأرض. ورسالة آليس ستنتقل بسرعة الضوء ـ وليس أسرع.

لذلك، فإن تجربة حزمة بيسيل الإيطالية لا تمثّل شيئًا أكثر من كونها خدعة هندسية. ليس هناك في الحقيقة شيء يتحرّك أسرع من سرعة الضوء. من جهة أخرى، ليس من السهل تمامًا رفض تجربة ليجون وانج. فتجهيزه المذهل فعليًّا، حيث ومضة الضوء تخرج من الغرفة قبل أن تدخلها، يبدو مثل آلة زمن لا خداع فيها.

إن مركز آلة الزمن لوانج هو وعاء بطول ستة سنتيمترات مملوء بغاز السيزيوم cesium. والسيزيوم فلز تفاعلي، إلى حدٍّ ما كالصوديوم المستخدم في مصابيح إضاءة الشوارع، وعندما يتم تجهيزها بشكل مضبوط، فإن غرفة غاز السيزيوم سيكون لها خاصية مميّزة تعرف بالتشتت الشاذّ anomalous dispersion، وهو التأثير الذي يحوّل الغرفة إلى آلة أسرع من الضوء.

تسافر تردّدات الضوء المختلفة ـ ألوان قوس قزح ـ في الفراغ بالسرعة نفسها، سرعة الضوء بالطبع. لكن ليست تلك هي الحالة عندما يسافر الضوء خلال وسط مثل الهواء أو الماء. في تلك الحالة، تتباطأ الألوان المختلفة بدرجات مختلفة. اللون الأحمر ـ الضوء الأقل تردّدًا ـ يميل للتأثر بالمادّة أقل من الضوء الأزرق الأعلى طاقة والأعلى تردّدًا. هذا يعني أن الضوء الأحمر يميل إلى التحرّك خلال صندوق به هواء أو كوب ماء أسرع قليلًا ممّا يفعل الضوء الأزرق. وهذا التأثير يعرف بالتشتّت dispersion وهو تأثير هام سببه الجزء شبه الموجي في طبيعة الضوء، وهو أيضًا السبب في فصل الألوان في قوس قزح.

أي جسم شبه موجي مثل ومضة الضوء يمكن تشريحه إلى أجزائه المكونة، في حالة الضوء، إلى أشعّة بتردّدات مختلفة(********). في معظم مناطق الفضاء، تلغي تلك الأشعّة بعضها، لكن في منطقة واحدة فإنّ الأشعّة بمختلف التردّدات تعيد تقوية بعضها، محدثة نبضة ضوء. النبضة تتحرّك لأن أشعّة الضوء الفردية تتحرّك بسرعة الضوء، ويتم إزاحة مناطق إعادة تقويتها وإلغائها للأمام بسرعة الضوء، مسبّبة تحرّك النبضة للأمام بسرعة الضوء أيضًا. على الأقل هذا ما يحدث في الفراغ، إنه أكثر تعقيدًا قليلًا في وسط مُشتِت كالهواء.

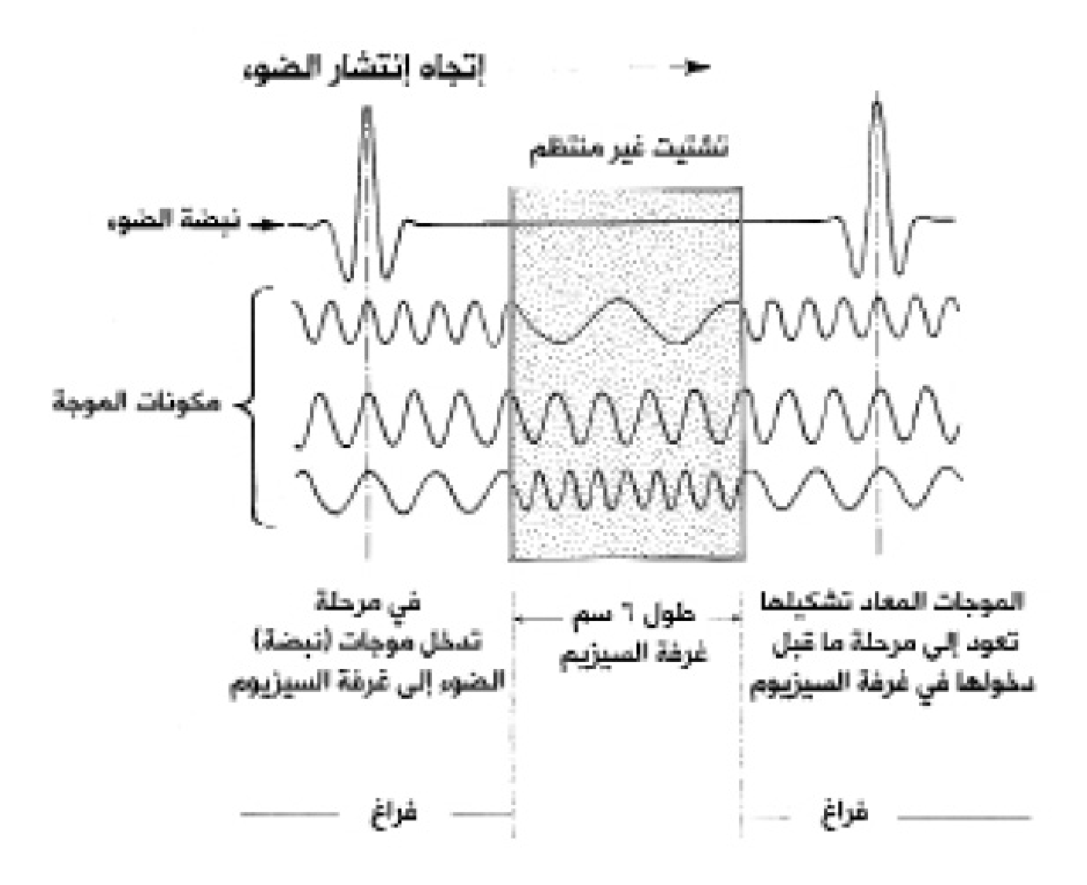


نبضة الضوء في الفراغ وتحويل فورييه

ولأن الهواء يبطئ الضوء الأحمر إلى حدٍّ ما بأقل ممّا يبطئ الضوء الأزرق، فإنه يفسد الإلغاء إلى حدٍّ ما. وكلّما أصبحت النبضة قريبة جدًّا من غرفة مملوءة بالهواء، توقّف الإلغاء عن أن يكون كاملًا: وتنتشر النبضة قليلًا للخارج، حيث تتباطأ الموجات عالية التردّد بالنسبة إلى الموجات منخفضة التردّد. كما تصبح النبضة في الغرفة أضخم وأضخم أثناء انتقالها، وعند انبثاقها من الجانب البعيد للغرفة تصبح أكثر ضخامة ممّا دخلت. لقد أصبحت النبضة مشوّهة في الوسط.

مع ذلك، تصبح القصة عجيبة فعلًا إذا لم يكن الوسط مُشتِتًا بالطريقة المعتادة، مبطئًا الضوء الأزرق أكثر ممّا يبطئ الضوء الأحمر. وبدلًا من التشتت المعتاد سيكون تشتّتا شاذًّا، حيث يحدث العكس، الضوء الأحمر يتباطأ أكثر من الضوء الأزرق، وتكون آلة الزمن هي النتيجة.

وكما من قبل، عندما تقترب نبضة من غرفة غاز مملوءة بالسيزيوم، فإن الوسط يشوّش الإلغاء الأنيق. في مثال الهواء السابق، حيث يسافر الضوء الأزرق أبطأ من الضوء الأحمر، سيجرى تدمير الإلغاء قرب النبضة، مسبّبا انتشار النبضة للخارج فقط. في غرفة السيزيوم، من جهة أخرى، حيث يسافر الضوء الأحمر أبطأ من الأزرق، سيتخبّط الإلغاء على مسافة بعيدة من النبضة. كما لو أن النبضة تظهر فجأة بعيدة جدًّا: كما لو أنها تتحرّك بأسرع من سرعة الضوء. في الواقع، إذا كان تأثير التشتّت الشاذّ واضحًا كفاية، فإن النبضة يمكنها أن تنبثق من الغرفة قبل أن تدخلها أصلًا!



نبضة ضوء في وسط تشتيت غير منتظم وتحويل فوريير

من الصعب رؤية ذلك، لكنّه نتيجة منطقية لخصائص الضوء. ليس هناك خدعة، فالنبضة تنبثق من الغرفة قبل أن تدخلها لأنها تتحرّك أسرع من سرعة الضوء في الغرفة. في تجربة وانج الأصلية، النبضة تتحرّك بـ 300 ضعف سرعة الضوء وتترك غاز السيزيوم قبل حوالي 62 نانوثانية nanoseconds من دخول غرفة السيزيوم. لقد تكرّرت تجربة وانج وتعديلاتها منذ ذلك الوقت عدّة مرّات. هناك القليل من التناقض، فمعظم علماء الفيزياء يوافقون على أن النبضة تسافر بكفاءة أسرع من سرعة الضوء. على سبيل المثال، قام دانييل جوثييه Daniel Gauthier عالم الفيزياء بجامعة دوك Duck، مع اثنين من زملائه بتكرار التجربة باستخدام بخار البوتاسيوم في الغرفة بدلًا من السيزيوم، وقد تأكّدوا تمامًا من خروج النبضة من الغرفة بـ 27 نانوثانية أسرع ممّا يجب إذا كانت مسافرة بسرعة الضوء، لقد حطّمت الحدّ الكوني للسرعة، سرعة الضوء، بأكثر من2 %.

لم يرض جوثييه وزملاؤه بجعلهم النبضات أسرع من الضوء، فحاولوا إرسال معلومة على تلك النبضات. ولكي ترسل معلومة ستحتاج لإرسال بتة. فقام فريق جوثييه بتهيئة شعاع ليزر لكي يصبح أسطع بعد مرور فترة وجيزة (مشفرًا بـ 1) وليصبح أكثر خفوتًا بعد البرهة نفسها(مشفّرًا بـ 0). كان لديهم عند طرف الغرفة الآخر كشّافًا يقوم بتسجيل اللحظة التي يمكنه فيها تمييز النبضة (1) من النبضة (0) بدرجة عالية من اليقين. إذا جعلت الغرفة المعلومة تسافر أسرع من سرعة الضوء حقيقة، فيجب عندها أن يكون الكشاف قادرًا على تسجيل النبضة (1) أو (0) بأسرع ممّا يستطيع إذا كانت النبضة قد سافرت بسرعة الضوء وحسب، النبضة الأسرع من الضوء يجب أن تترك معلوماتها على الكشاف أسرع من نبضة بسرعة الضوء.

وما وجدوه كان العكس بالضبط. بالرغم من أن النبضة التي بسرعة الضوء تنبثق من الغرفة بعد النبضة الأسرع من الضوء، فإنها تترك معلوماتها قبل النبضة التي هي أسرع من الضوء. ومع أنّ الشعاع المتسارع يصل إلى الكشاف أولًا، فإن معلوماته تتخلّف قليلا. يمكن لآينشتين أن يرتاح مرة أخرى بسهولة. فمثل أداة حزمة بيسيل، لا تستطيع آلة الزمن/غرفة الغاز أن تنقل المعلومات أسرع من سرعة الضوء. مع ذلك، فإن السبب هو لمسة أكثر إتقانًا ممّا كان في حالة أداة حزمة بيسيل. إن هذا يجري على شكل النبضة.

عندما تمرّ النبضة خلال وسط مُشتِت مثل الهواء أو السيزيوم أو البوتاسيوم تصبح مشوّهة بعض الشيء. أحيانًا تصبح أضخم وأحيانا تصبح أرفع، وتصبح أطول في أماكن وأقصر في أماكن أخرى. في تجربة جوثييه، تصبح النبضة (0) والنبضة (1) مشوهتين بطرق مختلفة قليلًا. النبضة (0) الأصلية خطّط لها أن تتضاءل فجأة، لكن بعد التشوّه الناتج عن مرورها خلال الغرفة، فإنها تتضاءل بشكل أقلّ مفاجأة. النبضة (1) من ناحية أخرى، تصبح أقلّ لمعانًا فجأة بعد مرورها خلال غرفة السيزيوم. الأبطأ والأخفت (0) والأبطأ والألمع (1) يعني أن الاحتمالين الاثنين لا يمكن التمييز بينهما سريعًا. لقد كان صعبًا معرفة الفرق بين النبضة (0) والنبضة (1). حتّى مع أن النبضتين قد تحركتا خلال الغرفة بأسرع من سرعة الضوء. فالكشاف يستغرق وقتًا أطول للتمييز بينهما بسبب هذا التشوه ـ أكثر من تعويض تسريع تلك النبضة، في المحصّلة، فالموضع الذي تسكنه المعلومة في النبضة ـ المكان الذي تبقي فيه البتة على النبضة ـ يتحرّك دائمًا أبطأ من سرعة الضوء، حتّى عندما تتجاوز النبضة ذاتها حدّ السرعة هذا.

هذا التأثير يعوق محاولات نقل المعلومات حتّى بتقنية أخرى أسرع من الضوء، تستغل الملامح الغريبة للعالم ما تحت الذرّي المعروف بالتنفيق الكمّي quantum tunneling. في العالم الكلاسيكي، إذا ألقيت كرة على حائط صلب فسوف ترتد فورًا. في العالم الكمي، إذا ألقيت بجسيم مثل الفوتون على حاجز غير نفّاذ فسوف يرتد فورًا. وفي معظم الأوقات يندر جدًّا ـ ويتوقّف مدى احتمال ذلك على طبيعة الحاجز والجسيم ـ أن يمرّ الجسيم فورًا خلال الحاجز. فالفوتون على سبيل المثال، يمكن أن يحفر نفقًا tunnel خلال جدار صندوق محكم، حتّى بالرغم من أن القواعد الكلاسيكية للفيزياء يجب أن تحظر تماما دخول أي ضوء أو خروجه. هذه نتيجة منطقية لرياضيات ميكانيكا الكم، وقد لوحظت عدّة مرات. في الواقع، عملية التحلّل الإشعاعي هي شكل من التنفيق، على سبيل المثال جسيم ألفا (خليط من بروتونين ونيوترونين) يمكن حبسه بفعالية داخل صندوق نواة ذرية غير مستقرّة مثل اليورانيوم/238. يتحرّك جسيم ألفا بصخب حول نفسه داخل تلك النواة لسنين وسنين (في المتوسط، حوالي أربعة ونصف مليار سنة)، ثم فجأة، ينبثق من ثغرة في الصندوق ويحلّق بعيدًا. جسيم ألفا الهارب سيصنع عندئذٍ طقطقة عند الارتطام بمستكشف الإشعاع الحسّاس.

إن ما يجعل التنفيق شيّقا لجماعة أسرع من الضوء أن العملية تحدث سريعًا بشكلّ لا يُصدق، ربما حتّى فورًا. إنها تستطيع شقّ نفق خلال حاجز ـ بطقطقة! ـ فعليًّا دون أخذ وقت للمرور خلال الحاجز(********). إنه كما لو أن الجسيم يختفي ويظهر في مكان آخر، الأمر كلّه في اللحظة نفسها.

قام رايموند شياو Raymond Chiao عالم الفيزياء بجامعة كاليفورنيا بإعداد تجربة، حيث أرسل فوتونات إلى حاجز سميك نسبيا، شريحة مغطاة بالسليكون ـ ويندر جدًّا أن يشق الفوتون نفقا خلال ذلك الحاجز ـ والأكيد أن شياو قام بقياس سرعة تلك الفوتونات المتنقلة خلال الحاجز واكتشف أنها كانت تتحرك بالفعل أسرع من سرعة الضوء. مع ذلك، أدرك شياو أنه لا يمكن استخدام تلك الفوتونات في نقل المعلومات بأسرع من سرعة الضوء. تماما مثل آلة غرفة الغاز، الفوتون يتغير شكلّه أثناء مروره خلال الحاجز. فهو لا يختلف عن النبضة من وجهة نظر ميكانيكا الكم إلى العالم، فيتصرف كحزمة موجية كما يتصرف كجسيم. تلك الحزمة الموجية يجرى إزاحتها ويعاد تشكيلها أثناء شقها لنفق في الحاجز. في الواقع، تمرّ مقدّمة حزمة موجة الفوتون خلال الحاجز. على الجانب الأبعد، تكون حزمة الموجة أصغر بكثير، ويعاد تشكيل المقدّمة، لذا فأي بتة يمكنك تشفيرها على تلك النبضة من الضوء فسيتم إجبارها على التراجع للخلف عن طريق عملية إعادة التشكيل. فعلى آينشتين، أن يرتاح مرة أخرى فالمعلومات لا تسافر أسرع من سرعة الضوء، حتّى لو كان الفوتون نفسه يفعل ذلك. لقد قاومت نظرية النسبية كلّ محاولات نقل المعلومات بأسرع من سرعة الضوء.

مع ذلك، هناك تهديد آخر للنسبية تطرحه قوانين ميكانيكا الكم. إنه التهديد الذي اكتشفه آينشتين نفسه، وهو السبب الذي جعله يرفض النظرية التي أسهم في خلقها. وهنا أيضًا، تكون المعلومات مفتاحًا للفهم.

الفصل السادس

تناقض ظاهري

الطبيعة لا تصنع قفزات

- جوتفريد فيلهلم لايبنتز

تتعامل نظرية النسبية مع المعلومات. وقد فرضت معادلات آينشتين حدًّا لسرعة نقل المعلومات عبر الفضاء: إنها سرعة الضوء. كما أوضحت أيضًا كيف أن الملاحظين المختلفين سيقومون بجمع إجابات تبدو متناقضة عندما يُسألون الأسئلة نفسها، حتّى عندما يقومون جميعًا بجمع معلومات عن الأحداث نفسها. لقد غيّرت النسبية من طريقة نظر العلماء للكون، ولكيفية تفاعل الأجسام بعضها ببعضٍ، على بعد مسافات شاسعة وبسرعات عالية وتحت ظروف جاذبية قوية. وكان هذا أعظم انتصار حقّقه آينشتين. لكنّه لم يمنحه جائزة نوبل.

أتت جائزة نوبل بالرغم من عمله على نظرية النسبية، التي رفضها بعض أكثر أعضاء لجنة الجائزة تحجّرًا ومحافظة برغم أن أعظم مفكري العصر قد تبنوها. مع هذا فقد فاز آينشتين بجائزة نوبل في عام 1921 عن أحد أعظم تبصّراته الأخرى: النظرية الكمية للضوء.

المفارقة، أنه بالرغم من جائزة نوبل، فقد أصبح آينشتين يزدري النظرية الكمية التي ساعد على ابتكارها، لسبب وجيه، أنّ تحدّي تجاوز سرعة الضوء الذي يواجه نظرية النسبية كان كلعبة طفل بالنسبة للتحديات التي استخرجت مباشرة من قوانين ميكانيكا الكم. لقد اكتشف آينشتين بنفسه أحد أكبر هذه التحديات، الخدعة النظرية الكمية التي بدا كأنها تفتح ثقبًا في نظريتة الجميلة عن النسبية. فقد اكتشف، مدفوعًا بالرعب، ما بدا أنه مهربٌ منطقي في ميكانيكا الكم، ولأول وهلة ظهر أن علماء الفيزياء قد يستغلون هذا المهرب لإرسال معلومات أسرع من سرعة الضوء. وإذا كان هذا صحيحًا فإنه سيسمح للمهندسين أن يبنوا ما يشبه آلة الزمن. لقد بدا أن قوانين نظرية ميكانيكا الكم ستمنح العلماء المقدرة على تعديل الماضي وتغيير المستقبل.

اعتقد آينشتين أن هذا المهرب، هذا النظام الغامض للإرسال الكوني الذي اكتشفه، ربما يثبت أن نظرية العالم الكمّي كانت سخيفة ويجب نبذها، لكنّه كان مخطئًا. فقد رأى علماء الفيزياء ولعدد لا يُحصى من المرّات «فعل الكم الشبحي» الغامض لآينشتين يربط جسيمين معًا. فإذا كان على هذين الجسيمين التواصل بشكلّ ما، فسيجب عليهما فعل ذلك بسرعة أكبر آلاف المرّات من سرعة الضوء. لقد كان كابوس آينشتين حقيقيًّا.

تم ملاحظة الحيل الغريبة التي تلعبها الطبيعة بالأشياء الكمية، وتم التحقّق من أغرب تكهنات نظرية الكمّ. كما أن التناقضات الظاهرية المعلوماتية لميكانيكا الكمّ قد دفعت آينشتين للتخلّي عن نظرية الكم، ولن يتمكّن من رؤيتها محلولة. ما زالت تلك التناقضات الظاهرية من أكثر ملامح نظرية الكم إثارة للإرباك، وقد بدأ العلماء في فهمها الآن فقط، بعد مضي قرن تقريبًا، فشكرًا لعلم المعلومات.

بالرغم من أن آينشتين كان يحب النسبية ويبغض نظرية الكم، إلّا أن الاثنتين كانتا كابنتين له، وقد جاءت الأخوة من المصدر نفسه: فكلاهما مرتبط بالديناميكا الحرارية والمعلومات، وكلاهما ولد

في الضوء.

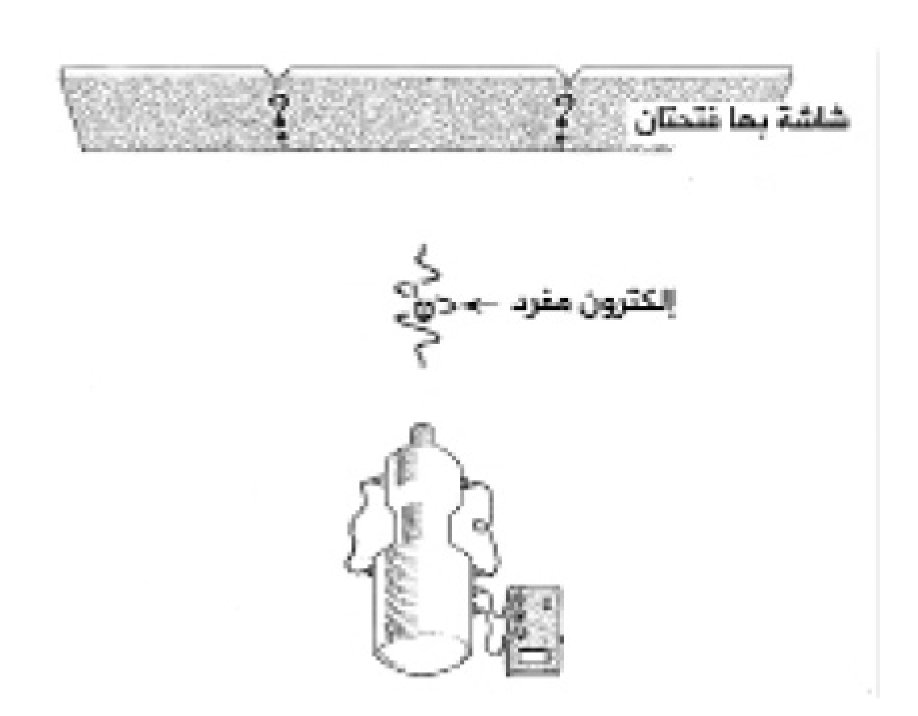
ومثل النسبية، تعود قصة نظرية الكم إلى تجربة يونج في عام 1801، التي بدا أنها أنهت الجدل حول ما إذا كان الضوء جسيمًا أو موجة. وقد أوضح يونج أن الضوء يصنع نمطًا من التداخل عندما يمرّ الشعاع بالتزامن خلال فتحتين. وهو ما تفعله الموجات لا الجسيمات.

يمكنك عن طريق تجربة يونج، أن تجعل الشعاع أكثر خفوتًا، وسيبقى نمط التداخل بصرف النظر عن مدى خفوت شعاع الضوء. وإذا كان الضوء، مكونًا في الواقع من جسيمات فعند نقطة معيّنة ـ عندما يكون الشعاع خافتًا بدرجة كافية ـ فسيتمكن جسيم ضوء واحد فقط من المرور من الفتحتين في المرّة الواحدة. إلا أنك لو كررت التجربة مرة تلو الأخرى، فلن ترى ذلك الإلكترون الواحد يضرب أماكن محدّدة على الشاشة: وسيكون هناك دومًا شكل للتداخل. حتّى بجسيم واحد يمرّ خلال الفتحتين في المرّة الواحدة، فإنه وبشكل ما يتداخل مع نفسه، مانعًا نفسه من الاصطدام بمناطق محدّدة على الكشاف.

لا يمكن إطلاقاً استكشاف
الإلكترون ضمن هذه المناطق

كشاف

يمكن استكشاف
الإلكترون ضمن هذه المناطق



إلكترون مفرد يتداخل مع نفسه

كيف يمكن لجسيم مفرد أن يتسبّب في شكل تداخل؟ كيف يمكن لجسيمة غير قابلة للانقسام أن تتداخل مع نفسها؟ الفطرة السليمة تقول إن هذا لا يمكن. إذا كان الضوء جسيميًّا، فإن نموذج التداخل يجب أن يختفي فجأة عندما يصبح الشعاع خافتًا جدًّا، لكن هذا لا يحدث، إذ يبقى نموذج التداخل. لذلك استخلص العلماء أن الضوء يجب أن يكون موجيًّا وليس جسيميًّا. وقد عززت تلك الفكرة معادلات ماكسويل، التي تشبه جدًّا المعادلات التي توضح كيفية انتشار موجات الماء في المحيط. الضوء يتصرّف كموجة، وتم وصفه عن طريق رياضيات الموجات، لذلك، يجب أن يكون موجة وليس جسيمًا. انتهت القضية.

حسنًا، لم تنته تمامًا. فهناك مشاكل قليلة في افتراض أن الضوء موجة. برزت أكثر هذه المشاكل أهمية في عام 1887، عندما اكتشف عالم الفيزياء الألماني هنريش هيرتزHeinrich Hertz ظاهرة طريفة: حيث كان اللوح المعدني يومض عندما قام بوضعه في شعاع من الضوء فوق البنفسجي، فالضوء ينزع الإلكترونات من المعدن تمامًا. هذا التأثير الكهروضوئي photoelectric لا يمكن تفسيره بالنظرية الموجية للضوء كما لم يمكن تفسير هوامش التداخل يقينًا بالنظرية الجسيمية للضوء. إن فشل النظرية الموجية في تفسير وميض هيرتز كان لا بدّ من تجاوزه بالطاقة. وميض المعدن كان بسبب أن الضوء يجذب الإلكترونات بعيدًا عن ذرات المعدن ـ بواسطة الطاقة التي يحتويها الضوء.

وظاهريًّا بدا أن المشكلة، قد ابتعدت تمامًا عن أفكار المعلومات والديناميكا الحرارية، لكن كما مع النسبية، فإن نظرية المعلومات ستجيء مندفعة بمجرد فهم المشكلّة تمامًا. في الواقع، فإن تفسير لماذا يومض المعدن ربّما سيقودنا إلى أكبر مشكلة فلسفية في الفيزياء اليوم، وهي المشكلة التي لها علاقة بقواعد القياس وبالمعلومات، بالطريقة التي يعمل بها الكون.

مع ذلك، فقد اكتشف علماء الفيزياء في أواخر القرن التاسع عشر، لماذا بدا وميض المعدن بلا أهمية كبيرة. في الواقع، بدا الأمر مثل مشكلة لا تختلف عن اكتشاف لماذا تسقط الكرة ثانية إلى الأرض بعد قذفها في الهواء. فالإلكترون مرتبط إلى ذرته بكمية معينة من الطاقة، تمامًا مثل كرة البيسبول التي ترتبط بالأرض عن طريق الجاذبية. إذا كنت ستحرر إلكترونًا من الذرّة، فينبغي أن تمدّه بالطاقة لكسر الرابطة، بالضبط كما تعطي كرة السلة دفعة كبيرة تكفي لإرسالها لأعلى. إذا كانت طاقة الدفعة تحت الذرية ليست كافية، فسيحلق الإلكترون بعيدًا عن ذرّته قليلًا لكنّه سيرتدّ عائدًا إليها مرة ثانية. تمامًا كالكرة التي تقذف عاليًا بقوة غير كافية فلا بدّ أن تعود إلى الأرض. مع ذلك، إذا منحت الإلكترون دفعة أقوى من طاقة الربط في الذرّة، فسترسله القوة إلى خارج الذرّة كلّيًّا (وكرة السلة ستقترب من مدار الغلاف الجوي).

في التأثير الكهروضوئي، فإنّ مصدر الطاقة الدافعة الإلكترونية يجب أن يأتي من الضوء. الآن، افترض للحظة أن الضوء موجة، فإذا كان الأمر كذلك، سيكون على موجات الضوء الضاربة أن تضع طاقتها في الإلكترونات مانحة إيّاها باقة من الطاقة. ستحفز هذه الطاقة الإلكترونات للقفز بعيدًا عن ذرات المعدن. إذا لم تضع الموجات طاقة كافية في الإلكترون وإذا كانت طاقة الموجات الإجمالية أقل من الحدّ المطلوب فستبقى الإلكترونات في مكانها عندئذٍ. إلا أنه، إذا كانت الموجات ذات طاقة كافية فسيتم عندها تحفيز المعدن لكي يومض، الأمر جيد حتّى الآن.

مع ذلك، ففي النظرية الموجية هناك طريقتان لزيادة طاقة باقة الموجات الآتية. من السهل جدًّا رؤية الطريقة الأولى: فقط بجعل الموجة أكبر. إن موجة المحيط التي يبلغ ارتفاعها قدمًا واحدًا ستحمل قوة دفع أقل من موجة ارتفاعها ثلاثة أقدام، والموجة التي يبلغ ارتفاعها عشرة أقدام يمكن أن تضرب سبّاحًا لدرجة أنها قد تفقده الوعي. إن ارتفاع الموجة يعرف بالسعة amplitude، وكلّما كبرت الموجة، زادت سعتها وزادت الطاقة التي تحملها. تترجم السعة في حالة موجات الماء بالارتفاع المادّي، لكن في أنواع أخرى من الموجات ربّما يكون لها معانٍ مختلفة. ففي حالة موجات الصوت، على سبيل المثال، تتصل السعة بجهارة الصوت volume. كلّما كان الصوت صاخبًا أكثر، كبرت سعة موجات الصوت. وفي حالة الضوء، تتصل السعة باللمعان. فالشعاع الأصفر اللامع له سعة أكبر من الشعاع الأصفر الخافت.

الطريقة الثانية لزيادة طاقة مجموعة موجات ببراعة أكثر عن طريق زيادة تردّد الموجات. إذا كانت قمم الموجات أقرب من بعضها بعضًا ـ إذا كان هناك عدد أكثر من الموجات تضرب الشاطئ كلّ دقيقة ـ فإن الموجات ستنقل طاقة أكبر إلى الشاطئ. لذا، كلّما زاد تردّد الموجات، زادت الطاقة التي تحتويها. في حالة الضوء، يتطابق التردّد مع اللون. فالضوء الأقل تردّدًا ـ الضوء ما تحت الأحمر والأحمر والبرتقالي ـ يحتوى طاقةً أقلّ من الضوء الأصفر والأخضر والأزرق والبنفسجي الأعلى تردّدًا. الضوء ما فوق البنفسجي وأشعّة X لديهما طاقة أعلى، حيث إن تردّدهما أعلى حتّى من الضوء المرئي.

لذلك إذا كان هناك حدٌّ حرجٌ threshold للطاقة حتّى يتم إبعاد الإلكترون عن المعدن، فسيلزم وجود طريقتين ليصبح الضوء أعلى من هذا الحدّ الحرج. فيمكنك عن طريق أشعّة لها درجة لمعان معينة أن تغيّر تردّد الضوء من الأحمر إلى الأخضر إلى الأزرق إلى ما فوق البنفسجي، وعند نقطة معيّنة لا بدّ وأن تبدأ الإلكترونات بالقفز خارج المعدن. من المؤكّد أن هذا هو ما يحدث. فالضوء الأحمر لا يسبب وميض لوح معدن هيرتز، ولا اللون الأخضر أو الأزرق. لكن عندما يصبح لون الضوء عالي التردّد بما يكفي ـ عندما يكون الشعاع تحت البنفسجي ـ يبدأ الوميض فجأة.

الطريقة الثانية لجعل الضوء أعلى من الحدّ الحرج للطاقة هي بتثبيت تردّد الشعاع ـ فلنقل بالحفاظ عليه بطيف اللون الأصفر نفسه ـ لكن بزيادة سطوع الشعاع. إذا بدأت بشعاع أصفر خافت، فلن يكون لديه طاقة كافية لإثارة الإلكترونات للقفز خارج المعدن. لكن كلّما زدت من سطوع الشعاع، أصبح أكثر طاقة. وفي النهاية عندما يصبح الشعاع ساطعًا بما يكفي، عندما تصبح سعة الشعاع كبيرة بما يكفي، ستبدأ الإلكترونات فجأة في تلقّي الطرقات العنيفة وستتفكك ليبدأ الوميض، لكن ليس هذا هو ما يحدث.

إذ لا يهمّ مدى سطوع الشعاع الأصفر، فهو لن يحرّر الإلكترونات أبدًا. الأسوأ من ذلك، أنه حتّى أخفت الأشعة تحت البنفسجية ـ والذي لا ينبغي، وفقًا للنظرية الموجية للضوء، أن يكون لديه طاقة كافية لتحرير الإلكترونات من المعدن ـ سيسبب وميضًا. وكما أنه بلا معنى أن يقوم جسيم مفرد من الضوء بصنع شكل تداخل، فلا معنى أن من موجة خافتة من الضوء تحت البنفسجي يمكنها الطرق على الإلكترونات وتفكيكها بينما لا يستطيع ذلك شعاع من اللون الأصفر الساطع. في النظرية الموجية، لا بدّ من وجود حدّ للسعة حتّى يحدث التأثير الكهروضوئي تمامًا كما أن هناك حدًّا

للتردّد. لكن يبدو أن تجربة هيرتز قد بيّنت أن التردّد هو المهمّ. وهذا يتناقض مع المعادلات الموجية للضوء التي كان العلماء قد قبلوها منذ وقت طويل.

كان علماء الفيزياء في حيرة. إذ لم يستطيعوا شرح التداخل باستخدام النظرية الجسيمية للضوء، ولم يستطيعوا شرح التأثير الكهروضوئي باستخدام النظرية الموجية. واستغرق الأمر عشرين عامًا تقريبًا لاكتشاف أين كان الخطأ، وعندما قام آينشتين بذلك ـ في عام 1905 نفسه الذي صاغ فيه النظرية النسبية الخاصّة ـ فقد دمّر النظرية الموجية إلى الأبد. وحلّت محلّها نظرية جديدة، النظرية الكمّية. كان تفسير آينشتين للتأثير الكهروضوئي والذي جعله يستحقّ جائزة نوبل هو الذي وضع النظرية الكمية بثبات في التيار الرئيس للفيزياء.

لقد أعاد آينشتين الحياة للفكرة الشاذّة التي ولدت قبل ذلك بخمس سنوات عندما جاء ماكس بلانك Max Planck عالم الفيزياء الألماني، بطريقة لحلّ هذه المعضلة الرياضية. تلك المعضلة كان ينبغي لها أيضًا أن تتناول سلوك الضوء والمادّة. فالمعادلات التي شرحت كمّية الإشعاعات التي تبعثها قطعة ساخنة من المادّة ـ وهي التي ستفسر لماذا يتوهّج حديد الحداد باللون الأحمر ويتوهّج فتيل المصباح باللون الأبيض ـ لم تكن تعمل. وكانت تلك المعادلات تتحطّم تحت ظروف معينة، ممزقة النظرية في ضباب اللا نهائية الرياضية. لقد أتى بلانك بالحلّ، لكنّه كان بثمن.

فقد صمّم بلانك فرضًا بدا سخيفًا فيزيائيًّا. إذ افترض أن المادّة تستطيع تحت ظروف معينة أن تتحرّك بطرق معينة: إنها مكمّمة quantized. (لقد صاغ بلانك المصطلح كم quantum، من الكلمة اللاتينية التي تسأل عن «ما الكمية») على سبيل المثال كان تكميم quantization طاقة الإلكترون حول ذرّة يعني أن الإلكترون يمكنه فقط أخذ بعض الطاقات وليست الأخرى. لا تحدث هذه الأشياء في الحياة اليومية. تخيّل ماذا سيحدث إذا تم تكميم سرعة سيارتك: إذا كانت تسير بسرعة 20 أو 25 ميلًا في الساعة، لكن لا يمكن قيادتها عند سرعة 21 أو 23 ميلًا في الساعة أو بأيّة سرعة بينهما. إذا كنت تقود عند 20 ميلًا في الساعة وضغطت على دوّاسة الوقود، فلن يحدث شيء إطلاقًا لفترة. ستستمرّ على الطريق بسرعة 20 ميلًا في الساعة... 20 ميلًا في الساعة... 20 ميلًا في الساعة... ثم، فجأة، هوب! ستقود فورًا على سرعة 25 ميلًا في الساعة. ستتخطّى سيارتك كلّ السرعات بين 20 و25 ومن الواضح أن هذا لا يحدث. إن عالمنا ناعم ومتواصل وليس متشنّجًا ولا متقلّبًا. بلانك نفسه دعا الفرضية الكمية بـ «صنيعة اليأس». ومع ذلك، وبقدر الغرابة التي كانت عليها الفرضية الكمية، فقد نفت اللا نهائيات التي ابتليت بها معادلات الإشعاعات.

قام آينشتين بحلّ اللغز الكهروضوئي بتطبيق الفرضية الكمية على الضوء. بعكس ما افترضه كلّ علماء الفيزياء تقريبًا على مدى مئات السنوات السابقة، فقد افترض أن الضوء ليس بموجة تنساب بسلاسة وباستمرار لكنّه عبارة عن جسيمات منفصلة ومتدفّقة تعرف حاليًا بالفوتونات photons. كان هذا برغم الدليل المناقض بما فيه تجربة يونج عن التداخل. في نموذج آينشتين، كان كلّ جسيم يحمل كمية معينة من الطاقة تتناسب مع تردّده، وبمضاعفة تردّد الفوتون ستتضاعف الطاقة التي يحملها. وبمجرد تقبل تلك الفكرة(********)، سيمكنك القيام بخطوة عظيمة لتفسير التأثير الكهروضوئي.

في تصوّر آينشتين، كلّ فوتون يضرب المعدن يمكن أن يعطي دفعة للإلكترون، وكلّما زادت الطاقة التي يحملها الفوتون، زادت الدفعة. وكما من قبل، يجب أن تبلغ الطاقة حدًّا حرجًا. إذا كانت طاقة الفوتون صغيرة جدًّا، أقلّ من طاقة ترابط الإلكترون، لن يتمكّن الإلكترون من الإفلات. وإذا كانت الطاقة كبيرة بما يكفي، فسيفلت الإلكترون إذن. وكما فعلت النظرية الموجية للضوء، فإن فرضية آينشتين قد شرحت الحدّ الحرج للطول الموجي: إذا لم يكن للفوتونات طاقة كافية، فلن يمكن حينئذٍ إخراج الإلكترونات من الذرّة. لكن على خلاف النظرية الموجية، كانت نظرية آينشتين الكمية عن الضوء تشرح أيضًا نقص الحدّ الحرج الخاصّ بالسعة. إنها تشرح لماذا لا تستطيع مجرد زيادة سطوع الشعاع جعل الالكترون يبدأ في الإفلات من المعدن.

إذا كان الشعاع مصنوعًا من جسيمات مفردة من الضوء، فإن زيادة السطوع تعني فقط أن المزيد من تلك الجسيمات موجود في الشعاع.

على الأرجح هناك فوتون واحد فقط يضرب الذرّة في كلّ مرة. وإذا لم يكن لدى هذا الفوتون الطاقة المطلوبة، فإنه لن يستطيع إخراج الإلكترون بعيدًا، لا يهمّ كم عدد الفوتونات الموجودة حول الذرّة. إنه فوتون لكلّ ذرة، وإذا كان الفوتون القادم ضعيفًا جدًّا فلن يحدث شيء، بصرف النظر عن سطوع الشعاع.

تشرح نظرية آينشتين الكمّية عن الضوء، التأثير الكهروضوئي بتفصيل رائع، إن الفرضية الكمية قد فسرت بشكل كامل تلك الملاحظات التجريبية المحيّرة التي لم يكن ممكنًا شرحها بالنظرية الموجية للضوء(********). كان ذلك محيّرًا فعلًا لعلماء الفيزياء في ذلك الوقت: أوضح يونج أن الضوء يتصرّف كموجة وليس كجسيم، لكن آينشتين أوضح أنه يتصرّف كجسيم وليس كموجة. كانت النظريتان في تعارض مباشر. ولم يكن أيّ منهما على صواب. أو هل كانا كذلك؟

كانت المعلومات، كما في النظرية النسبية، في قلب المشكلة تمامًا. ففي النظرية النسبية، يمكن لملاحظين مختلفين أن يجمعا المعلومات عن الحدث نفسه وأن يحصلا على إجابتين متناقضتين بشكل متبادل. ربما يقول أحدهم إن طول الرمح تسعة أمتار بينما يقول الآخر إنه خمسة عشر مترًا، ويكون كلاهما على حقّ. كانت هناك المشكلة نفسها في نظرية الكم. الملاحظ، الذي يقيس نظامًا بطريقتين مختلفتين، يمكنه الحصول على إجابتين مختلفتين. قم بإجراء تجربة بطريقة واحدة ويمكن أن تثبت أن الضوء موجة وليس جسيمًا. قم بإجراء التجربة نفسها بطريقة مختلفة بشكل طفيف وستتمكّن من إثبات أن الضوء جسيم وليس موجة. أيهما على صواب؟ كلاهما، وليس أيّ منهما. فالطريقة التي تجمع بها المعلومات تؤثّر على محصلة التجربة.

نظرية الكمّ يمكن طرحها بلغة نظرية المعلومات ـ عند الكلام عن نقل المعلومات (مشتملًا على آحاد 1s وأصفار0s الخيارات الثنائية) ـ وعندها سيتكشف العمق الجديد كلّيًّا للتناقضات الظاهرية للعالم الكمّي. إن الخلاف بين الموجات والجسيمات مجرّد بداية.

لقد وضعت نظرية آينشتين افتراض بلانك الكمي في التيار الأساسي، وعلى مدى الثلاثة عقود التالية قام أفضل علماء أوربا بتطوير نظرية قامت بوظيفة جميلة لشرح سلوك العالم ما تحت الذري. قام فيرنر هايزنبرج Werner Heisenberg وإرفين شرودنجر Erwin Schrödinger ونيلز بور Niels Bohr وماكس بورن Max Born وبول ديراك Paul Dirac وألبرت آينشتين Albert Einstein وآخرون ببناء مجموعة من المعادلات التي تشرح

سلوك الضوء والإلكترونات والذرّات والأجسام الأخرى بالغة الصغر بدقة مذهلة(********). ولسوء الحظ، بالرغم من بنية المعادلات، ونظرية الكم التي بدا أن لديها الإجابة الصحيحة دائمًا، فإن التبعات الأخرى لتلك المعادلات بدا أنها متناقضة مع الفطرة السليمة.

لأول وهلة تبدو إملاءات نظرية الكم سخيفة. فخصائص الضوء الغريبة والتي تبدو متناقضة تصبح مستهجنة كما هو متوقّع، فقد أتت بالفعل من رياضيات نظرية الكم. الضوء يتصرّف كجسيم في بعض الظروف وكموجة في ظروف أخرى، إن له بعض صفات الاثنين، إلا أنه في الحقيقة ليس جسيما ولا موجة.

ليس الضوء فقط هو الذي يتصرّف بهذه الطريقة. ففي عام 1942، اقترح عالم الفيزياء الفرنسي، لويس بروي Louis de Broglie أن المادّة تحت الذرية ـ جسيمات كالإلكترونات ـ يجب أن يكون لها خصائص شبه موجية أيضًا. بالنسبة للتجريبيين، كانت الإلكترونات جسيمات بشكل واضح وليست موجات، وكان الملاحظ نصف الموهوب يرى أن الإلكترونات تترك تجربة البخار وهي ترسم خطوطًا من طرف الغرفة المضبّبة إلى الطرف الآخر. كانت تلك التجارب تبيّن مسارات قطع صغيرة من المادّة بوضوح: الجسيمات، وليس الموجات. لكن النظرية الكمية تتجاوز الفطرة السليمة.

مع أنه يصعب الكشف عن هذا الأثر في حالة الإلكترون منه في حالة الضوء، إلا أن الإلكترونات تظهر سلوكًا شبه موجي wave-like تمامًا كسلوكها المألوف شبه الجسيمي. في عام 1927، قام عالم فيزياء إنجليزي بإطلاق شعاع من الإلكترونات على بللورة نيكل. وبينما ترتدّ الإلكترونات عن الذرّات المتباعدة بانتظام وتقترب خلال الثقوب في الشعرية الذرّية atomic lattice، فإنها تتصرّف بالضبط كما لو أنها مرّت خلال الفتحتين في تجربة يونج. الإلكترونات تتداخل فيما بينها، صانعة شكلًا للتداخل. حتّى لو تأكّدت من أن إلكترونًا واحدًا فقط يضرب الشعرية lattice في المرة الواحدة، فسيبقى شكل التداخل، هذا الشكل لا يمكن أن يكون بسبب ارتداد الإلكترونات بعضها عن بعضٍ. هذا التصرّف لا يتوافق مع ما تتوقّعه من الجسيمات: شكل التداخل علامة لا يمكن الخطأ فيها على وجود موجة مستمرّة ناعمة وليس جسيمات صلبة مشتّتة. إنّ الإلكترونات تشبه الضوء بطريقة ما، فلها من الصفات شبه الموجية وشبه الجسيمية كلتيهما. على الرغم من أنّ خصائص الموجات والجسيمات متناقضة بالتبادل.

هذه الطبيعة المزدوجة الموجية/الجسيمية صحيحة للذرّات وحتّى للجزيئات كما هي صحيحة للإلكترونات والضوء. الأشياء الكمية يمكن أن تتصرّف كموجات بالإضافة إلى تصرفها كجسيمات، إن لها خصائص شبه موجية وخصائص شبه جسيمية. في الوقت نفسه، لها خصائص لا تتماشى مع كونها موجة أو مع كونها جسيمًا. الإلكترون والفوتون والذرّة هم كلّ من موجة وجسيم، وليسوا موجة ولا جسيمًا. إذا أعددت تجربة لتحديد إذا كان الشيء الكمي، جزيئًا (1) أو موجة (0) فستحصل على (1) أحيانًا و(0) أحيانًا أخرى، ويتوقّف هذا على طريقة إعداد التجربة. المعلومات التي تستقبلها تعتمد على كيفية جمعها. هذا من التبعات التي لا يمكن تجنبها لرياضيات ميكانيكا الكم. والتي تعرف بازدواجية موجة/جسيم.

إن ازدواجية موجة/جسيم لها بعض التبعات الغريبة حقًّا ـ حيث يمكنك استعمالها للقيام بأشياء محظورة تمامًا وفقًا للقوانين الكلاسيكية للفيزياء ـ وهذا السلوك الذي يبدو مستحيلًا نجده مشفّرًا في

رياضيات ميكانيكا الكم. فمثلًا، الطبيعة شبه الموجية للإلكترون تمكنك من بناء مقياس للتداخل من الإلكترونات كالذي تبنيه من الضوء بالضبط، فالتجهيزات هي نفسها في الحالتين إلى حدٍّ كبير. عند قياس تداخل المادّة/الموجة، فإنّ شعاعًا من الجسيمات كالإلكترونات، يجرى تصويبه باتجاه مقسم الشعاع حيث يتم تفريقه إلى اتجاهين فورًا. وعندما يتم تجميع الأشعّة فإنها إما أن تقوّي بعضها أو تلغي بعضها، ويتوقّف ذلك على الحجم النسبي للمسارين. إذا قمت بضبط مقياس التداخل جيّدًا، فلن يمكنك إطلاقًا تسليط أي إلكترون على الكشاف أبدًا، لأن الشعاعين المتحركين من المسارين سيلغي بعضهما بعضًا تمامًا. ويعمل هذا الإلغاء بصرف النظر عن مدى خفوت شعاع الإلكترون بصرف النظر عن الكيفية التي تضرب بها الإلكترونات القليلة مقسم الأشعّة. في الحقيقة، لو قمت بإعداد الجهاز بشكل صحيح، إذا دخل إلكترون مفرد مقياس التداخل وضرب مقسم الأشعّة فلن تكتشف الإلكترون ينبثق من الناحية الأخرى.

الفطرة السليمة، تقول لك إن الجسيم غير القابل للانقسام مثل الإلكترون سيكون عليه اتخاذ خيار عند مقسم الأشعّة: عليه الاختيار بين المسار (أ) أو المسار (ب)، أن يذهب يسارًا أو يمينًا لكن ليس الاثنين. لا بدّ أن يكون القرار ثنائيًّا بامتياز، يمكنك أن تخصص (0) للمسار (أ) و(1) للمسار (ب). وعلى الإلكترون أن ينتقل خلال مساره المختار. يجب أن يكون اختياره (0) أو (1)، وعندها سيقوم بضرب الكشاف في نهاية مقياس التداخل interferometer. ولأن إلكترونًا واحدًا ينتقل خلال مقياس التداخل، فلن يكون هناك شيء يتداخل معه، ليس هناك جسيمات لتعوقه. وبصرف النظر عمّا إذا كان الإلكترون قد اختار المسار (أ) أو (ب)، فيجب أن ينبثق من الجانب الآخر على الكشاف بدون عوائق، يجب أن يختفي نموذج التداخل. فلا توجد جسيمات أخرى يمكنها أن تتداخل مع الإلكترون. لكن هذا لا يحدث، وتخفق الفطرة السليمة.

حتّى عندما يدخل إلكترون واحد إلى مقياس التداخل في المرة الواحدة، يكون هناك شكل للتداخل. هناك شيء يعوق الإلكترون بشكل ما. شيء يمنع الإلكترون من الانبثاق من مقسم الشعاع بطريقة معينة لكي يضرب الكشاف في بعض الأماكن، لكن ما هو كنه هذا الشيء؟ ففي النهاية الإلكترون هو الشيء الوحيد في مقياس التداخل.

تبدو الإجابة على هذا تناقضًا ظاهريًّا يصعب تصديقه، لكن عليك تأجيل عدم اقتناعك للحظة لأن الأمر يبدو مستحيلًا. فقوانين ميكانيكا الكم تميط اللثام عن المتهم. فالشيء الذي يعيق حركة الإلكترون هو الإلكترون نفسه. عندما يضرب الإلكترون مقسم الشعاع، فإنه يأخذ كلا المسارين في الوقت نفسه. إنه لا يختار أن يأخذ المسار (أ) أو المسار (ب)، وبدلًا من ذلك، فإنه يسير في المسارين بشكل متزامن، حتّى لو كان الإلكترون نفسه غير قابل للتقسيم. إنه يذهب إلى اليمين وإلى اليسار في الوقت نفسه، إنه يختار (0) و(1) بالتزامن معًا. يختار الإلكترون كلا الاختيارين المتنافيين عندما يواجههما.

يعرف هذا المبدأ في ميكانيكا الكم بتطابق التراكب superposition. فالشيء الكمى مثل الفوتون أو الإلكترون والذرّة يمكن أن يفعل شيئين متناقضين (كلاسيكيا)، أو بدقة أكثر، يكون بالتبادل وبشكل متزامن في حالتين كميتين تماما. فالإلكترون يستطيع التواجد في مكانين في وقت واحد، متخذًا المسار الأيسر والمسار الأيمن في الوقت نفسه. قد يستقطب الفوتون عموديًّا وأفقيًّا في الوقت نفسه. الذرّة يمكنها أن تكون في كلا الوضعين للأعلى أو مقلوبة رأسًا على عقب (بتقنية أكثر، فإن

غزل spin الذرّة يمكن أن يكون لأعلى أو لأسفل) في اللحظة نفسها. وبمصطلحات نظرية المعلومات، الشيء الكمّي الواحد قد يكون (0) و(1) بالتزامن(********).

لقد لوحظ تأثير تطابق التراكب هذا عدة مرات. ففي عام 1996، قام فريق من علماء فيزياء المعهد القومي للمعايير والمعامل التكنولوجية في بولدير Boulder بكلورادو Colorado، بقيادة كريس مونروي Chris Monroe وديفيد وينلاند David Wineland، بتجهيز ذرّة بريليوم واحدة بحيث تتواجد في مكانين مختلفين في الوقت نفسه. فقاموا أولا بإعداد نظام ليزر بارع لفصل الأشياء ذات الغزل المختلف. فعندما يضرب الليزر ذرة ذات غزل إلى أعلى، فإنه يدفعها قليلًا في اتجاه واحد، قل إلى اليسار، وعندما يضرب ذرّة ذات غزل إلى أسفل فإنه يدفعها في الاتجاه المضادّ، إلى اليمين قليلًا. ثم أخذ علماء الفيزياء ذرة واحدة، عزلوها بدقّة عمّا يحيطها، وقصفوها بأشعّة الراديو والليزر، واضعين إيّاها في حالة تطابق التراكب. لقد كانت في كلتا الحالتين غزل لأعلى وغزل لأسفل، كلا من (1) و(0)، في الوقت نفسه. عندها قاموا بتشغيل جهاز الفصل بالليزر. ولقد تأكّد بما يكفي أن الذرّة نفسها، كانت تقوم بغزل للأعلى وبغزل للأسفل في الوقت نفسه، فتحركت إلى اليسار وإلى اليمين بشكل متزامن! الذرّة حيث تغزل لأعلى تحركت لليسار وحيث تغزل للأسفل تحركت لليمين: ذرّة البريليوم الواحدة كانت في مكانين في اللحظة نفسها. الذرّة الكلاسيكية غير القابلة للتقسيم لا يمكن أبدًا أن تصبح (1) و(0) في الوقت نفسه. لكن بيانات فريق كلورادو أشارت إلى أن الذرّة كانت في موضعين بشكل متزامن، على بعد 80 نانومتر nanometers من بعضهما ـ وهو ما يساوي عرض عشر ذرّات تقريبًا. لقد كانت الذرّة في حالة (درامية) من تطابق التراكب(********).

يوضح تطابق التراكب كيف أن إلكترونًا واحدًا يمكنه صنع نموذج تداخل مع أن أي شيء كلاسيكي لا يستطيع ذلك أبدًا. فالإلكترون يتداخل مع نفسه. عندما يضرب الإلكترون مقسّم الشعاع، يدخل في حالة تطابق التراكب، يأخذ المسارين(أ) و(ب) في الوقت نفسه، إنه يختار كلًّا من (0) و(1). كما لو أن إلكترونات أشباح تنتقل على جانبي مقياس التداخل، واحد على اليمين وواحد على اليسار. وعند استعادة تلاقي المسارين، ستتداخل الإلكترونات الشبحية مع بعضها لاغية بعضها بعضًا. الإلكترون يدخل مقسم الشعاع لكنّه لا ينبثق أبدًا، لا يضرب الكشاف، لأن الإلكترون يأخذ المسارين بشكل متزامن ويلغي نفسه.

إذا لم يكن هذا التأثير غريبًا بما يكفي، فإنه مثير للعجب. فتطابق التراكب هش ومتزعزع. وبمجرد اختلاس النظر لشيء متطابق التراكب، بمجرد أن تحاول الحصول على معلومة عما إذا كان الإلكترون فعليًّا (0) أو (1)، «يغزل لأعلى» أو «يغزل لأسفل»، سيأخذ المسار (أ) أو المسار (ب)، فإن الإلكترون فجأة و(على ما يبدو) سيختار بشكل عشوائي مسارًا ما أو سيختار الآخر لينهار تطابق التراكب. على سبيل المثال، إذا تلاعبت بالمسارين في مقياس التداخل بسلك اعتراضي trip wire ـ فلنقل، شعاع الليزر الذي يضيء المسار (ب) ويرسل بتة (1) إلى الكمبيوتر عندما يعبر الإلكترون الشعاع ـ فلا يمكن أن يكون الإلكترون في تطابق التراكب. إنه يختار أن يذهب عبر المسار (أ) أو المسار (ب) بدلًا من كليهما، سيختار أن يكون (0) أو (1) بدلًا من الاثنين وسيختفي شكل التداخل. بدون السلك الاعتراضي هذا، سيكون الإلكترون في تطابق التراكب، وسيأخذ المسارين في اللحظة نفسها. لكن في لحظة استخلاصك المعلومة عن مسار الإلكترون ومحاولة اكتشافها أو قياسها، سيتبخّر تطابق التراكب ـ سينهار collapse (********)

تطابق التراكب. بمجرد أن تترك المعلومة عن مسار الإلكترون نظام مقياس التداخل، سيختار الإلكترون على الفور وبشكل عشوائي «المسار الأيسر» أو «المسار الأيمن»، (0) أو (1) كما لو كان الله يرفّ عملة كونية للفصل في الأمر.

إن مبدأ تطابق التراكب غريب جدًّا لدرجة أن كثيرًا من علماء الفيزياء وجد مشكلة في قبوله، حتّى بالرغم من أنه يشرح الملاحظات التي لا يمكن شرحها بأيّة طريقة أخرى. كيف يمكن لإلكترون واحد أن يتخذ مسارين بشكل متزامن؟ كيف يمكن لفوتون أن يغزل لأعلى وأن يغزل لأسفل في الوقت نفسه؟ كيف يمكن لشيء أن يتخذ اختيارين متناقضين بشكل متبادل؟ تأتي الإجابة ـ التي لم تكن معروفة بعد ـ من المعلومات، فعملية تجميع المعلومات ونقلها هي الموضع الذي وجد فيه العلماء مفتاح فهم فكرة تطابق التراكب المشوشة والمناقضة للحدس. مع ذلك، ففي عشرينيات القرن الماضي وثلاثينياته، لم يكن العلماء قد تسلحوا بعد بالرياضيات الأساسية لنظرية المعرفة، إلا أنهم لم يكونوا عاجزين تمامًا. فعندما ووجهوا بالتناقض الظاهري لفكرة تطابق التراكب، راحوا يستلون سلاحهم المفضل ـ تجربة التفكير ـ كمحاولة لتدمير المفهوم. لم تأتِ أشهر تلك المحاولات عن طريق آينشتين، بل من الفيزيائي النمساوي إرفين شرودنجر Erwin Schrödinger.

بدأ الشكل الجديد لميكانيكا الكم في التشكل في عام 1925، عندما جاء عالم الفيزياء الألماني فيرنر هايزنبرج Werner Heisenberg بنظرية مبنية (في هذا الوقت) على أشياء رياضية غير شائعة نسبيًّا تعرف بالمصفوفات matrices. فللمصفوفات خاصية كانت مشوّشة أولًا: فهي لا تتبدّل commute عند ضربهما.

عندما تضرب رقمين، لا يهم ترتيب ضربهما: 5 × 8 مثل 8 × 5. بكلمات أخرى، تتبادل الأرقام في الضرب. لكن ناتج ضرب المصفوفة (أ) في المصفوفة (ب)، سيختلف كلّيًا عن ناتج ضرب (ب) في (أ). ويرتاح علماء الفيزياء اليوم لفكرة الرياضيات غير الاستبدالية، لكن ميكانيكا مصفوفات هايزنبرج تسببّت في بعض الضجّة في ذلك الوقت. كان هذا جزئيا بسبب الخاصية غير الاستبدالية للمصفوفات التي أدت إلى تبعات غريبة جدًّا جدًّا: إنه مبدأ هايزنبرج بعدم اليقين uncertainty principle.

ففي نظرية هايزنبرج، ربّما تمثل المصفوفة خاصية الجسيم الذي تستطيع قياسه: وضعه، طاقته، عزمه الحركي(********)، استقطابه أو بعض المشاهدات الأخرى. ففي بنية هايزنبرج الرياضية، يحدث شيء فريد إذا لم تتبادل اثنتان من تلك المصفوفات مع بعضهما: فمعلوماتهما مرتبطة بطريقة مزعجة جدًّا.

الموضع والعزم الحركي هما مثال لتلك الملاحظات التي لا تتبادل مصفوفاتها. بلغة الفيزياء، موضع الجسيم وعزمه الحركي متكاملان. رياضيات نظرية هايزنبرج تفترض ضمنيًّا أن جمع المعلومات عن أحد طرفي زوج من تلك المشاهدات المكملة لبعضها يجب أن يتسبّب في فقد المعلومات عن الطرف الآخر. لذا، فبقياس موضع الجسيم ـ الحصول على معلومات عن مكانه ـ سيتم فقد المعلومات عن عزمه الحركي أوتوماتيكيًّا. وبالعكس، إذا حصلت على معلومات عن العزم الحركي لجسيم ـ إذا قللت عدم يقينك عن كمية عزمه الحركي ـ فستزيد عدم يقينك عن موضعه. وفي الحدّ الأقصى منطقيًّا، إذا كنت قادرًا بطريقة ما على تحديد كمية العزم الحركي

لجزيء بنسبة دقة 100%، فلن تتمكّن من معرفة أي شيء عن موضعه. ومحتمل أن يكون في أيّ مكان في الكون. وهذا هو مبدأ عدم اليقين الشهير.

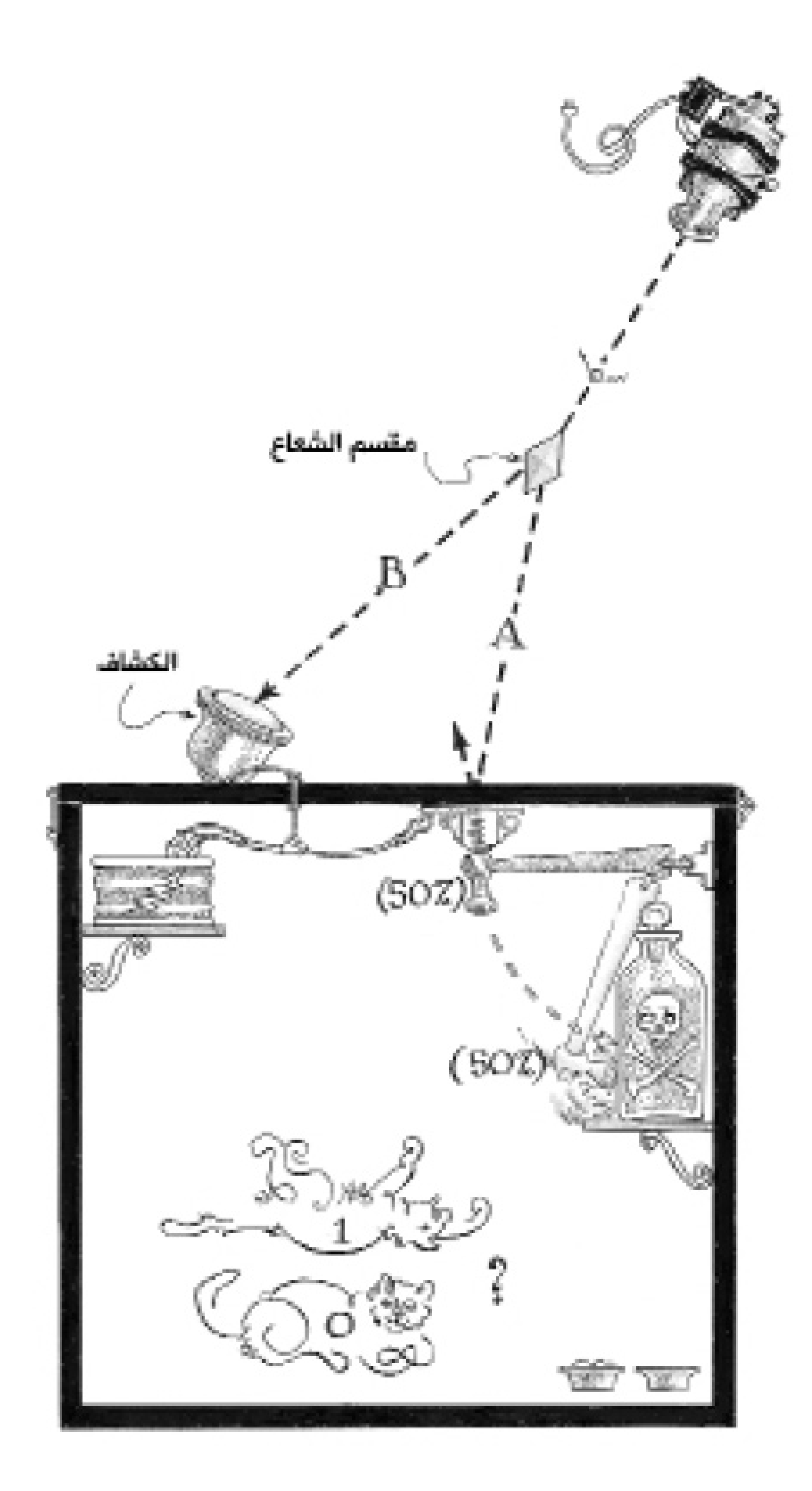
كانت هذه الفكرة غير مستساغة بالنسبة لعلماء الفيزياء الكلاسيكيين. فقد كان معناها أنه يستحيل تمامًا الحصول على معلومات دقيقة عن مشاهدتين متكاملتين في الوقت نفسه. لا يمكن معرفة موضع الذرّة وعزمها الحركي بشكل متزامن، يمكن الحصول على معلومات دقيقة عن أحدهما، لكن هذا يعنى أنه لن يكون لديك أية معلومة عن الآخر. إنه حدّ متأصل في المعرفة الإنسانية(********). وعلماء الفيزياء يكرهون الحدود.

حتّى بالرغم من أن بنية هايزنبرج الرياضية قد فسرت العالم الغريب والصغير جدًّا ـ عالم الأشياء الكمية ـ بشكل جميل، فإن نظرية المصفوفة تمثل انتهاكًا كبيرًا للفطرة السليمة. كان مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج غريبًا، وكان تطابق التراكب مروعًا تمامًا. وليس مفاجأة أن نظرية الكم لهايزنبرج كان لها كثيرٌ من الأعداء، وكان شرودنجر زعيمهم.

لقد كره شرودنجر ميكانيكا المصفوفة لهايزنبرج حتّى إنه قرّر أن يأخذ إجازة ـ مع عشيقته. حيث اصطحبها إلى شاليه على أحد جبال الألب السويسرية، وقد نزل من على الجبل مسلحًا ببديل لنظرية المصفوفة لهايزنبرج(********). فعلى خلاف بنية هايزنبرج، كانت نسخة شرودنجر عن نظرية الكم مبنية على أشياء رياضية كانت مألوفة لعلماء الفيزياء: المعادلات التفاضلية والتكاملية، كانت مثل ميكانيكا نيوتن ومعادلات ماكسويل تمامًا. فبدلًا من وصف الأشياء الكمية بمصطلحات المصفوفات، كانت طريقة شرودنجر تستخدم بناءً رياضيًّا يتصرّف كالموجة. هذا البناء، الدالة الموجية wave function، قد وصف كلّ الخصائص الميكانيكية للشيء الكمّي دون اللجوء لاستدعاء أشياء غريبة كالمصفوفات. لكن إعادة تشكيل نظرية الكم بمصطلحات أكثر ألفة لم تتخلص من غرابة مبدئي «عدم اليقين» و«تطابق التراكب». وبعد سنوات قليلة من طرح شرودنجر لنظريته البديلة، أثبت علماء الفيزياء أنها كانت مكافئة رياضيا لنظرية هايزنبرج، حتّى بالرغم من أن كلتا النظريتين قد استخدمتا أنواعًا مختلفة من الرياضيات، فلم يكن هناك خلاف وراء كلّ هذه الشكليات. ولم يكن هذا الاستغراب من عدم اليقين وتطابق التراكب إلا مجرد نتيجة اصطناعية للمظهر الغريب لميكانيكا المصفوفات لهايزنبرج. ونظرية شرودنجر، مثل نظرية هايزنبرج، كان لها مشاكل كبرى لاحقت علماء الفيزياء ـ بما في ذلك مفهوم تطابق التراكب. وقد أزعجت شرودنجر جدًّا فكرة تطابق التراكب التي بدا أنه لا يمكن تجنبها، فجاء بتجربة تفكير ليبين فقط كيف كان المفهوم كلّه غبيًّا. وفي أثناء هذه العملية، هدّد بتمزيق كلّ الصرح الذي بناه هو وهايزنبرج.

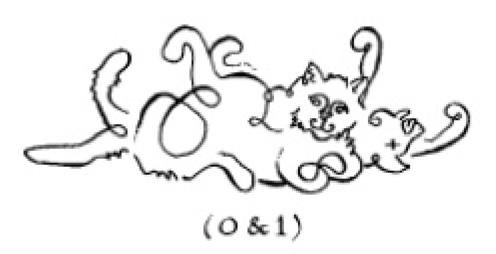
بدأ شرودنجر تجربة التفكير بشيء كمّي في حالة تطابق تراكب، بصرف النظر عن نوع هذه الحالة. قد يكون أي خيار ثنائي، ممكن أن يكون ذرة تغزل لأعلى/لأسفل، أو فوتونا مستقطبا عموديا وأفقيا في الوقت نفسه، أي شيء يجبر على الاختيار بين بديلين (0) و(1). لكن في هذا المثل، دعنا نقل إنه الإكترون الذي يضرب مقسم الشعاع ويتّخذ المسارين في الوقت نفسه. وكلا المسارين يؤدّي إلى صندوق، صندوق بداخله قطة صغيرة(********). المسار (أ) نهايته طريق مسدود، فإذا عبر الإلكترون هذا المسار لن يحدث شيء: (0). لكن المسار (ب) يؤدّي إلى كشاف الإلكترون، وعندما يضرب الإلكترون الكشاف، سيرسل الكشاف إشارة إلى موتور كهربائي ليهوي بمطرقة. والمطرقة ستكسر قنينة صغيرة بها سم بداخله صندوق القطة، لتموت المسكينة في الحال:

(1). إذا عبر الإلكترون المسار (أ) (0) فإن هذا يعنى أن القطة تعيش، بينما إذا عبر المسار (ب) (1)، فإن هذا يعني أن القطة تموت.



قطة شرودنجر

اذن ماذا سيحدث لقطة شرودنجر؟ شكرًا لتطابق التراكب، فالإلكترون سيمرّ في المسارين (أ) و(ب) في الوقت نفسه، إنه سيكون (0) و(1) بالتزامن. لذا فالإلكترون سيضرب الكشاف ولن يضرب الكشاف، المطرقة ستهوي ولن تهوي، قنينة السم ستنكسر ولن تنكسر، كلّ هذا في الوقت نفسه. القطة تموت ولن تموت (0) و(1). قوانين الميكانيكا الكمية تفترض ضمنيًّا أنّ القطة نفسها في حالة تطابق تراكب، إنها حية وميتة في الوقت نفسه، إنها في وضع عجيب كشبح في حالة الحياة والموت. فكيف يكون شيئًا ميتًا وحيًا في الوقت نفسه؟



القطّة حيّة وميتة في اللحظة نفسها!

لكن انتظر، فالأمر يصبح أكثر غرابة. ستبقى حالة تطابق التراكب تلك طالما لم يقم أحد بفتح الصندوق. وفي اللحظة التي يستخلص فيها شخص المعلومة عن إذا ما كانت القطة حية أو ميتة، إذا ما كانت القطة في الحالة (0) أو الحالة (1)، سيكون ذلك مكافئًا لحالة السلك الاعتراضي في مقياس التداخل. عندما يستخلص شخص ما معلومة من النظام، فإن تطابق التراكب، ووفقًا لمصطلح شرودنجر دالة موجة القطة، سوف ينهار. القطة «تختار» الحياة أو الموت، وتنتقي فجأة أيًّا من الخيارين (0) أو (1). لكن، مبدئيًّا، طالما بقي الصندوق على حاله دون اضطراب، طالما لم يقم شيء باستخلاص المعلومات عن القطّة من نظام القطة والصندوق، سيبقى تطابق التراكب للقطة بدون إزعاج، وتبقى القطّة حية وميتة في الوقت نفسه. إنه يبدو كما لو كان الأمر أن عملية الملاحظة، عملية استخلاص المعلومات، هي التي تقتل القطة. المعلومات يمكنها أن تكون قاتلة. هذا الاستخلاص الطنان المنافي للعقل يبدو أنه أحد تبعات مبدأ تطابق التراكب التي لا يمكن تجنبها.

عندما اقترح شوردنجر تجربته، كان يعرف أن هذا الاستخلاص سخيف. فالأشياء التي ترى بالعين المجردة كالقطط لا تتصرّف مثل الأشياء الدقيقة جدًّا كالإلكترونات، ومن المضحك أن تفكر أن شيئًا يمكنه أن يكون حيًّا وميتا في الوقت نفسه. لكن إذا كانت رياضيات نظرية الكم تقول ذلك فإنه سيحدث، لكن لماذا لا نرى أناسا أنصاف أحياء أنصاف موتى يتجوّلون في الشوارع؟ (طلاب الدراسات العليا لايؤخذون بعين الاعتبار)، ما الذي يمنعنا من رؤية تطابق التراكب في الأشياء الكبيرة مثل كرات السلة والسيارات والبشر؟

افترض بعض علماء الفيزياء أن هناك شيئًا مختلفًا بشكل أساسي هو الذي يفرق العالم الكمي عن العالم الكلاسيكي، وتكهن بعضهم بأن هناك حدًّا لبعض الأحجام الخاصة، حيث تتوقّف لسببب أو لآخر قوانين ميكانيكا الكم عن العمل وتسود القوانين الكلاسيكية. مع ذلك ولأقصى ما يمكن للتجريبيين أن يخبرونا به، لا يوجد مثل هذا الحاجز. حتّى إن العلماء قد وجدوا أجسامًا أكبر في حالة تطابق تراكب. على سبيل المثال، فإن عالم الفيزياء آنتون زيلينجر Anton Zeilinger بجامعة فيينا، قد جعل قطة شرودنجر مكافئة لجزيئات كبيرة تعرف بالفلورينات fullerenes.

والفلورينات عبارة عن جزيئات على شكل قفص دائري تتكوّن من ستين ذرة كربون أو أكثر، بالمقاييس الكمية فهي أشياء عملاقة جدًّا. ومع ذلك، عندما قذف زيلينجر بالفلورين خلال الشراعة grating، فقد أخذت كلّ واحدة مسارات متعدّدة في طريقها للكشاف. حتّى بالرغم من أن تلك الأشياء أكبر قليلًا جدًّا من الذرّات والإلكترونات والفوتونات، فإنه يمكن إجبارها على اتخاذ مسارين في الوقت نفسه، ويمكن إجبارها على تطابق التراكب. إلى هذا المدى، فإن العلماء لم يجدوا أي حدّ للحجم في قوانين نظرية الكم، فكلّ شيء في الكون يجب أن يخضع لتلك القوانين.

ها نحن نواجه بعض التناقض الظاهري. إذ يبدو أن رياضيات نظرية الكم تفترض ضمنيًّا أن العلماء يجب أن يقدروا على وضع أشياء كبيرة مثل كرات السلة وحتّى القطط في تطابق التراكب. لكن الشيء الذي من السخيف التفكير فيه أن كرة السلة يمكن أن تكون في مكانين في الوقت نفسه والقطة يمكنها أن تكون حية وميتة في الوقت نفسه. إذا انطبقت قوانين ميكانيكا الكم على الأشياء التي ترى بالعين، فلماذا لا تتصرف تلك الأشياء على أنها أشياء كمية؟ أليس هذا معقولًا بعض الشيء؟

مثل هذا التعدّي على الفطرة السليمة قد يغرق نظرية، لكن لم يكن هذا هو التناقض الظاهري الوحيد. فلقد اكتشف آينشتين نفسه واحدا آخر. كان آينشتين يكره قبح الصفات التي بدت متناقضة لميكانيكا الكم وحاول مرّة تلو الأخرى، أن يدمّر النظرية التي ساعد على خلقها. وقد نجح تقريبا.

إن تناقض قطّة شرودنجر الظاهرى أصبح واحدًا من الأحجيات الكلاسيكية المثيرة للمشاكل في نظرية الكم. ومع أنها، كانت غريبة مثل تطابق التراكب، فإنها لم تكن أكثر العناصر إثارة للمشاكل في ميكانيكا الكم على الأقل بالنسبة لآينشتين. فقد رأي آينشتين التهديد قادمًا من اتجاه آخر، وبدا هذا التهديد مهددًا لقاعدته المقدّسة التي مفادها «لا يمكن للمعلومة الانتقال بأسرع من سرعة الضوء» وبدا هذا التهديد كفكرة يمكنها أن تسمح للعلماء ببناء آلة الزمن.

وجد آينشتين وزميليه، بوريس بودولسكي Boris Podolsky وناثان روزين Nathan Rosen، تلك المشكلة في عام 1935. وقد أبدعا مثل شرودنجر، تجربة تفكير يمكنها أن تفضح لا معقولية ميكانيكا الكم، وقد كانت خارقة للعادة doozy. فقاموا في هذه التجربة باستغلال خاصية في ميكانيكا الكم تعرف حاليًا بالتشابك entanglement، الذي عندما يجري اقترانه بتطابق التراكب، سيهدّد باختزال مجمل بنية ميكانيكا الكمّ لتصبح رزمة من التناقضات.

بدأت تجربة تفكير آينشتين وبودولسكي وروزين بجسيم يطفو بلطف خلال الفضاء. وإذ فجأة، يتحلّل الجسيم ـ كما اعتادت الأجسام أن تفعل ذلك ـ إلى جسيمين أصغر يطيران في اتجاهين متضادين. فإذا كان للجسيمين الكتلة نفسها، فإنهما سيتباعدان بالسرعة نفسها في اتجاهين متضادين، تمامًا كما تقول قوانين نيوتن. وإذا كان هناك جسيم أثقل من الآخر، فالجسيم الأثقل سيتحرّك أبطأ والجسيم الأخف سيتحرّك أسرع(********).

لدواعي الافتراض، دعنا نقل إن جسيمنا الأصلي يتحلّل إلى جسيم ثقيل وجسيم خفيف، حيث سينطلقان إلى اليسار وإلى اليمين. وإلى أن يتم قياس أحد زوجي الجسيمين الناتجين عن التحلّل أو الآخر، سيواجهك سؤال ثنائيّ. إما أن يبتعد الجسيم الأخف والأسرع إلى اليسار أو أن يبتعد إلى اليمين. أو بالنظر بطريقة أخرى، الجسيم المتحرّك يسارًا إمّا أن يكون خفيفًا أو ثقيلًا، سريعًا أو

بطيئًا، (0) أو (1). تلك المجموعة الخاصّة من الجسيمات تعرف بزوج EPR، على اسم آينشتين وبودولسكي وروزين.

الآن، فلنقل إنك تقيس سرعة أحد الجسيمين من زوج EPR المتجه يسارًا: فهو إما سريع أو بطيء، خفيف أو ثقيل، (0) أو (1). وبمجرد قياس سرعة الجسيم الأيسر، ستعرف أيًّا من تلك الحالتين سيكون عليها الجسيم الأيسر، وستعرف إذا ما كان يسير ببطء أو بسرعة. لكن بقياس الجسيم الأيسر، ستحصل أيضًا على معلومات عن الجسيم الأيمن. إذا قست الجسيم الأيسر ووجدته يتحرّك أسرع ـ إنه (0) ـ ستعرف أتوماتيكيًّا أن الجسيم (ب) يتحرّك ببطء ـ إنه (1) ـ والعكس بالعكس. القياس الواحد ستنتج عنه بتة واحدة من المعلومات ـ (0) أو (1) ـ تدلك على حالة كلا الجسيمين. فالاثنان متصلان نظريًّا بالمعلومات. هذا هو التشابك، قياس واحد لأحد زوجي الجسيمات المتشابكة سيعطيك معلومات عن الجسيم الآخر، بدون أن تكون في حاجة لعمل أي قياس ذي أهمية على الآخر. بمفهوم نظرية المعلومات (وبمفهوم ميكانيكا الكم) فالشيئان يتصرّفان، بطريقة، كما لو كانا جسيما واحدًا. قم بقياس واحد وستكون عمليًّا قد قست كليهما.

يمكنك صنع زوج EPR بحيث يكون الجسيمان متشابكين بطرق أخرى. على سبيل المثال، يمكن ابتكار مجموعة من الجسيمات التي يكون غزلها متساويًا ومتضادًا، تمامًا كما يمكنك ابتكار اثنين حيث تكون سرعتهما متساوية ومتضادة. قس جسيمًا واحدًا من مثل هذا الزوج المتشابك واكتشف أنه يغزل لأعلى وستعرف فورًا أن الآخر يغزل لأسفل. يمكنك صنع زوج من الفوتونات، زوج من جسيمات الضوء، التي يكون استقطابها متساويًا ومتضادًا، فإذا عرفت أن استقطاب الفوتون المتحرك يسارًا يكون في المستوى الأفقي، فإن استقطاب الفوتون المتحرّك يمينًا سيكون في المستوى العمودي.

إلى هذا الحد، فإن الأمر ليس غريبًا جدًّا. وهذا النوع من الأشياء يحدث في العالم المرئي كلّ يوم. على سبيل المثال، يمكنني إخبارك أنني وضعت قرشًا penny في صندوق وتعريفة nickel في الصندوق الآخر، عندما تفتح أحد الصندوقين وتنظر لترى، فلنقل، تعريفة، ستعرف أن الصندوق الآخر يجب أن يكون به قرش. فإجراء قياس واحد ينتج بتة واحدة من المعلومات، سيخبرك ما «الحالة» ـ قرشًا أم تعريفة ـ التي عليها كلا الصندوقين. مع ذلك، بخلاف القروش والتعاريف، يمكنك أن ترمي بتطابق التراكب إلى الخليط. عندما تشبك جسيمات كمية في حالة تطابق تراكب، تصبح الأشياء رهيبة جدًّا جدًّا(********).

كما في السابق، دعنا نبتكر زوجًا من جسيمات EPR. ولغرض التبسيط، دعنا نستخدم الغزل بدلًا من الكتلة. لقد ابتكرنا الزوج لذا فالجسيمان لديهما غزل متساوٍ ومتضاد: إذا كان واحدٌ يغزل لأسفل فالآخر سيغزل لأعلى، إذا كان الجسيم (أ) في الحالة (0)، فالجسيم (ب) في حالة (1). لكن لأننا نتعامل مع أشياء كمية، فلا يجب علينا أن نجبر كلّ جسيم ونضعه فورًا في الحالة (0) أو الحالة (1). يمكننا إعداد الجسيمات لكي تكون في تطابق التراكب [(0) و(1)]، تغزل لأسفل وتغزل لأعلى في الوقت نفسه. وهذا في الواقع يفسد الأشياء.

مثل قطة شرودنجر، لا يمكن اختيار أي من الجسيمين سواء كان يغزل لأعلى أو كان يغزل لأسفل. فكلّ واحد منهما في كلا الوضعين في الوقت نفسه، طالما بقيت الجسيمات بدون إزعاج.

سيمكنهما التباعد سريعًا عن بعضهما لسنوات وسنوات، وفي نهاية المطاف سينتهيان في مجرتين مختلفتين، وكلّ منهما على هذه الحالة من تطابق التراكب بدون إزعاج.

لكن ماذا سيحدث، عندما تقيس غزل أحد الجسيمين؟ فجأة، الجسيم الذي كان كلا من (0) و(1)، يغزل لأعلى ويغزل لأسفل، «سيختار» إحدى الحالتين. عندما تستخلص المعلومات من أحد الجسيمين، سينهار فورًا تطابق التراكب غير المحدّد، وتصبح الحالة فلنقل، غزلًا لأعلى، (1). وكما في السابق، فإن عملية القياس تغيّر من حالة الجسيم، تغيّره من خليط من (0) و(1) إلى حالة (1) خالصة. لكن هذا سيكون أكثر إثارة للمشاكل بكثير من مجرد قطة شرودنجر، فشكرًا للتشابك. ولأن الجسيمين متشابكان، فعندما نقيس الجسيم (أ) ونحدّد أنه (1) نعرف على الفور أن الجسيم الآخر يجب أن يكون (0). ولأن بتة واحدة من المعلومات تخبرنا عن كلا الجسيمين، فإن استخلاص معلومة من الجسيم (أ) يعادل استخلاص معلومة من – قياس – الجسيم (ب) أيضًا. حتّى لو كان في منتصف الطريق عبر الكون. إن لحظة إجراء قياس الجسيم (أ) ستتسبب في تغييره من خليط بين الحالتين (0) و(1) إلى حالة (1) خالصة. القياس نفسه سيتسبب في أن الجسيم (ب) يتغيّر من الخليط بين الحالتين (1) و(0) إلى الحالة (0) الخالصة. بمجرد أن نجعل أحد الجسيمين «يختار» أن يغزل لأعلى، فعلى الآخر أن «يختار» في اللحظة نفسها، أن يغزل لأسفل. وبشكل ما، عندما «يختار» الجسيم (أ) أن يغزل لأعلى، فإن توءمه على بعد مليارات السنين الضوئية، يجب عليه فورًا أن يتخذ الخيار المساوي والمضاد ـ سيكون على تطابق التراكب الخاص به أن ينهار. لن يمكنك تفسير هذا الأثر بمصطلحات كلاسيكية، لن يمكنك التملص بقول إن الجسيمات «تختار» مصيرها بشكل سري قبل إجراء القياس بمدّة طويلة. يمكنك إذا أردت، القيام بتجربة من نوع مونرووي ـ وينلاند Monroe-Wineland على الجسيمات لكي تثبت أنها في تطابق التراكب للحالتين بدلًا من حالة (1) أو (0) خالصة حتّى تقوم بإجراء القياس. إنه نتيجة منطقية لميكانيكا نظرية الكم: الجسيم (ب) «يختار» أن يكون (0) في اللحظة نفسها التي تقيس فيها الجسيم (أ) الذي يختار أن يكون (1)، وليس قبل ذلك بلحظة واحدة.

كيف يستطيع الجسيم (ب) اتخاذ هذا الخيار فورًا، حتّى لو كان بعيدًا جدًّا جدًّا في مجرّة بعيدة؟ لأول وهلة يبدو أنه لا مجال لحدوث ذلك. لأنه يجب على شعاع الضوء أن ياخذ مليارات السنوات للسفر من جسيمنا إلى توءمه، والمعلومات تنتقل فقط بسرعة الضوء نفسها، وسيبدو أن عليها أن تاخذ مليارات السنوات الضوئية ليصبح الجسيم البعيد مدركًا لقياس الجسيم (أ) والاختيار الذي أصبح عليه، عندها فقط سيمكنه الانهيار وأن يختار الحالة المضادة. لكن ليس هذا هو الحال. فالجسيم يعرف على الفور أن توءمه قد تم قياسه ويعرف الخيار الذي اتخذه. لا يوجد تأخير في الزمن قبل أن يكون الجسيم (ب) مدركًا أن الجسيم (أ) قد اختار الخيار (1) وأن ينهار هو نفسه إلى حالة (0). آينشتين نفسه كان مذعورًا من الاتصال الفوري، هذا الفعل الشبحي عن بعد spooky action at a distance، إلا أنه قد تم التحقق منه.

في عام 1982، رأى عالم الفيزياء ألين أسبيكت Alain Aspect هذا الفعل الشبحي عن بعد لأول مرة، وتم تكرار التجربة مرات عديدة منذ ذلك الحين. وفي الوقت الحاضر، فإن أحدث تحقق من تجربة EPR جرى في جامعة جنيف، حيث قام نيكولاس جيسين Nicolas Gisin وزملاؤه بانتهاك الفطرة السليمة عن طريق جسيمات متشابكة لسنوات. الجسيمات التي قامو بتشبيكها هي الفوتونات، إذ قامو بابتكار زوج متشابك بالتحكم بالليزر عن بعد في بللورة مصنوعة من

البوتاسيوم والنيوبيوم niobium والأكسجين. عندما تمتص البللورة فوتون من الليزر، فإنها تلفظ الجسيمين المتشابكين اللذين يتباعدان في اتجاهين متضادين، ويتم عندئذٍ نقلهما في كابلات زجاجية.

كان لدى فريق جيسين حرية الوصول إلى شبكة كبيرة من الألياف البصرية تدور حول بحيرة جنيف والمدن المجاورة. في عام 2000، قام الفريق بإطلاق فوتونات متشابكة إلى قريتي بيرنيكس Bernex وبيللفيو Bellevue المتجاورتين، وتبعدان أكثر من ستة أميال عن بعضهما. وبأخذ القياس بواسطة ساعة فعالة ودقيقة بشكل لا يُصدق، كانوا قادرين على توضيح أن الجسيمات تتصرّف بالطريقة التي تنبأ بها آينشتين: كان الجسيمان الاثنان في تطابق تراكب ودائمًا بدا أنهما يتآمران ليكون لهما خصائص متساوية ومتضادة في لحظة القياس. وبسبب المسافة بين المدينتين، لم يكن هناك وقت كاف لوصول «رسالة» (النجدة، لقد تم قياسي وقد اخترت أن اكون (1)، وأنت تعرف ما عليك فعله) بسرعة الضوء من الجسيم (أ) للوصول إلى الجسيم (ب) قبل أن يتم قياسه أيضًا، ويتبيّن أنه في الحالة المضادّة. في الحقيقة، حدّد العلماء أنه إذا كان هذا النوع من «الرسائل» قد أرسل من الجسيم (أ) إلى الجسيم (ب)، فعليها أن تسافر بعشرة ملايين ضعف سرعة الضوء لتستقبل في التوقيت المحدّد لكي «يختار» الجسيم (ب) حالته قبل أن يتم قياسه أيضًا. لذا، بمعنى ما، فإن سرعة التشابك الكمي تكون مليون مرة (على الأقل) ضعف سرعة الضوء.

إذا جرى «الاتصال» بين تلك الجسيمات بأسرع من سرعة الضوء، هل يمكن استخدامها لنقل رسائل أسرع من الضوء؟ إذا كان لدينا بعض مصادر الجسيمات المتشابكة في منتصف المسافة بين آليس Alice وبوب Bob، وينطلق تيار من الجسيمات في الاتجاهين المتضادين، هل ستتمكن آليس من معالجة الجزء الخاص بها من هذا التيار ـ وتقوم بتشفير بتة على الجسيمات ـ وهل يمكن لبوب على الطرف الآخر أن يستقبل تلك البتة؟

لقد تمت الإجابة على هذا السؤال كما سيكشف الفصل التالي. ومع ذلك، يبقى الغموض حول التشابك. إنه شبحي ومشوش كما افترض آينشنين يومًا ما. في الواقع، أكبر غموضين في ميكانكيا الكم هما تطابق التراكب وهذا الفعل الشبحي عبر المسافة. لماذا تكون الأشياء بالغة الدقة في مكانين مختلفين في الوقت نفسه، ولماذا يكون لها خصائص مختلفة عن تلك التي يمكن رؤيتها بالعين؟ كيف يمكن للجسيمات أن تتواصل مع بعضها ـ على الفور، حتّى لو كانت في منتصف المسافة عبر الكون ـ وهل يمكن استخدامها في نقل رسالة؟ تلك التناقضات الظاهرية التي تقع في قلب نظرية الكم، إذا قمت بحلّها فستكتشف غموض العالم الكمي.

العلماء موجودون غالبًا ولديهم نظرية تشرح كلا من هذين التناقضين الظاهريين. وقد بنيت تلك الفكرة الجديدة على الأسس التي تدعم النظرية النسبية ونظرية الكم: إنها نظرية المعلومات الأكثر تطورًا حتّى من نظرية شانون. إنها نظرية معلومات الكمّ.

الفصل السابع

معلومات الكم

ما هو نوع التحرّر المطلوب، لنبذ سخافة منطقية متماسكة، وقبول أخرى غير منطقية ومفكّكة

ـ جيمس لويس بورتريه للفنان في شبابه

يستدعي اسم واترلو إلى المخيلة ذكرى معركة عظيمة. ففي عام 1815 بالقرب من واترلو ببلجيكا، قام دوق ويلينجستون بهزيمة قوّات نابليون بونابرت، وبعد قرنين تقريبًا كانت واترلو قد اختلفت كلّيا. أمّا واترلو بكندا، فقد كانت موقعًا لمعركة أخرى، إنها معركة من أجل الفهم. حيث حاول ريي لافلام Ray Laflamme وزملاؤه فكّ طلاسم عالم الكم.

ففي مختبره الجامعي، الواقع على بعد ساعة ونصف من تورنتو، كان لدى لافلام أسطوانتان بيضاويتان بارتفاع الإنسان، كلّ أسطوانة لها ثلاثة أرجل، لم يكن مظهرها جميلًا وكانت تبدو كمصفاة تكرير الزيت المنزلية، أو تخص مكانًا صناعيًّا أكثر من كونها من أحدث طرز المختبرات الكمية. هاتان الأسطوانتان كانتا أقوى أدوات فهم العالم ما تحت الذري بأكثر ممّا يستطيعه الميكروسكوب التقليدي.

عليك نزع محفظتك قبل استخدام أي من الأسطوانتين، وإلا لو اقتربت منهما ستفقد فورًا صلاحية كروت ائتمانك، لأن الأسطوانتين عبارة عن مغناطيسين هائلي القوة. فعلى بعد مسافة أكثر من متر، تلتصق دبابيس الورق والعملات الكندية مع بعضها وتتماسك بالتأثير غير المرئي للمجال المغناطيسي.

المغناطيس يجبر الذرات على التراقص، وتعمل المجالات المغناطيسية القوية على اصطفاف الذرّات، جاعلة غزلها spins ينتظم في صف وتخضعها للدروان واللّف في شكل باليه منطقي معقّد. المعلومات المخزنة في غزل تلك الذرات ـ معلومات كمية ـ والرقصة المعقّدة هي برنامج كمبيوتر أوّلى. ويشكّل المغناطيس مع الذرّات التي يؤثّر فيها كمبيوتر كمى quantum computer بدائي.

وكما تتعامل الكمبيوترات مع المعلومات، فإن الكمبيوترات الكمية تتعامل مع المعلومات الكمية، امتدادًا لفكرة شانون التي تأخذ في الاعتبار أسرار قوانين النظرية الكمية الخفية. المعلومات الكمية تفوق قوّة المعلومات العادية بكثير، فالبتة الكمية لها خصائص إضافية غير متوفّرة للآحاد والأصفار الكلاسيكية في معلومات شانون: ويمكنها أن تنقسم إلى عدّة أجزاء، وتنتقل فضائيًّا teleported عبر الغرفة، وتقوم تبادليًّا بعمليات متناقضة في اللحظة نفسها، وتؤدّي ما يبدو أنه أعمال أخرى فذّة ومعجزة. المعلومات الكمية تستغل موارد في الطبيعة لا تتمكّن المعلومات الكلاسيكية من الوصول إليها وحسب، وبسبب تلك الصفات الإضافية، فالكمبيوتر الكمّي الكبير بما يكفي سيكون قادرًا على حلّ كلّ الرموز المشفّرة المستخدمة للتأمين على شبكة الإنترنت، ويمكن أن يكون قادرًا على تـأدية أعمال فذّة كإجراء حسابات مستحيلة نهائيًّا بالنسبة للكمبيوترات العادية.

لكنّ الأهم أن المعلومات الكمية هي مفتاح إماطة اللثام عن أسرار العالم الكمي، والكمبيوترات الكمية ستمنح العلماء مدخلًا للمجالات غير المكتشفة سابقًا. وبسببها، فإن العلماء التجريبيين

والنظريين قد بدؤوا في التكهن بالأسرار التي تتضمّنها المعلومات الكمّية. وهم يدركون أن المعلومات الكمية مرتبطة أكثر بقوانين الفيزياء الأساسية أكثر من ارتباط المعلومات الكلاسيكية بها. وبالفعل، فإن المعلومات الكمية ربما كانت مفتاحًا لفهم قواعد العالم ما تحت الذري والعالم المرئي، ولفهم القواعد التي تحكم سلوك الكواركات quarks والنجوم والمجرات والكون ذاته.

وتمامًا كما تراجع عصر الفيزياء الكلاسيكية مع ميلاد النسبية وميكانيكا الكم، فقد أخلت نظرية المعلومات الكلاسيكية أيضًا مكانها لنظرية أوسع وأعمق تعرف بنظرية معلومات الكم quantum information theory. إن دراسة معلومات الكم هو مجرد بداية، لأن القواعد التي تحكم سلوك الذرات والإلكترونات والفوتونات تختلف كلّيا عن قواعد نيوتن القياسية والكلاسيكية الخاصّة بالمصابيح والكرات والأعلام والأشياء الأخرى التي ترى بالعين المجردة، فالمعلومات التي تحملها أشياء كمّية كالإلكترون تختلف تمامًا عن البتات البسيطة التي يمكن إدراجها على شيء كلاسيكي. فبينما يتحدّث منظرو المعلومات الكلاسيكية عن المعلومات بمصطلحات البتات، فإن منظري المعلومات الكمية يتحدّثون عن المعلومات بمصطلحات البتات الكمية أو الكيوبتات (********) qubits.

في نظرية المعلومات الكلاسيكية فإن سؤال (نعم/لا)، يمكن دائمًا الإجابة عليه بنعم أو بلا، (1) أو (0). لكن مع نظرية الكم ينهار التمييز السهل واللطيف بين نعم ولا. فالأشياء الكمية يمكن أن تكون في الحالتين في الوقت نفسه، على الجانب الأيمن وعلى الجانب الأيسر من مقياس التداخل، تغزل لأعلى spin up وتغزل لأسفل spin down، كلا من (1) و(0) في الوقت ذاته. وبينما لا يمكن للأشياء الكلاسيكية أن تكون في حالتين من تطابق التراكب الغامض، إذ يجب عليها دائمًا أن تكون في حالة واحدة أو أخرى، مشغل أو معطل، أيسر أو أيمن، (1) أو (0)، لكن ليس كلاهما في الوقت نفسه كما يفعل الشيء الكمي(********). لذا فحتّى مع سؤال (نعم/لا) لطيف وواضح (هل قطة شرودنجر حية؟) لا توجد طريقة في الغالب للإجابة عليه بشكل مستقيم (1) أو (0). فالقطة يمكنها (نظريًا) أن تكون في كلتا الحالتين حية وميتة، والإلكترون يمكنه أن يكون إلى اليسار وإلى اليمين، والضوء يمكن أن يكون كلًّا من جسيم وموجة. الآحاد والأصفار لا يمكنها الإمساك وحسب بالثنائية أو بتطابق التراكب. إن عالم الشيء الكمي ليس لديه هذا الانقسام الصرف كما في العالم الكلاسيكي.

لكن كما رأينا، فنظرية الكم (والنسبية بهذا الخصوص) هي نظرية تعنى بنقل المعلومات. إذن كيف سيتمكّن العلماء من الحديث عن المعلومات الموجودة على شيء كمي إذا كانت آحاد وأصفار النظرية الكلاسيكية للمعلومات غير كافية لوصف ماذا يجري؟ لهذا جاءت الكيوبتة. فيمكن للبتات الكمية بعكس البتات الكلاسيكية، أن تأخذ قيمتين متناقضتين (أو أكثر) في الوقت نفسه. فيمكنها أن تكون كلا من (0) و(1) بالتزامن. وبينما لا تستطيع وصف حالة موت/حياة قطّة شرودنجر بالبتات الكلاسيكية، سيمكنك ذلك بالكيوبتات. لكن للاقتراب من طبيعة المعلومات الكمية، ينبغي أن أقدم ملاحظة جديدة حول الكيوبتات التي تمسك بطبيعة معلومات الكمّ.

القطة الكلاسيكية يمكنها فقط أن تكون حية (0) أو ميتة (1). لكن قطة شرودنجر المثالية يمكنها أن تكون حية وميتة في الوقت نفسه (0&1). تلك هي الكيوبتة كل من (0) و(1) في الوقت نفسه. القطة التي في حالة تطابق التراكب يمكنها البقاء نظريًا في تلك الحالة من الحياة والموت ـ يمكنها تخزين تلك الكيوبتة (0&1) ـ طالما لم ينظر أحد إلى داخل الصندوق، لكن عندما يحاول أي

شخص تحديد إذا ما كانت القطة حية أو ميتة سينهار تطابق التراكب. وتتغيّر حالة (1&0) فورًا إلى الحالة الكلاسيكية، «تختار» القطة أما الحالة (0) فتكون حية، أو الحالة (1) فتكون ميتة.

إن تدوين الكيوبتات مرهق قليلا لكنّه ضروري(********). الكيوبتة ليست مثل بتة أو بتتين كلاسيكيتين لأن (1&0) شكل مختلف جدًّا عن الأصفار والآحاد، كما سنرى بعد قليل.

وكما أن الوسط الذي تستقرّ فيه المعلومة الكلاسيكية ليس مهمًّا ـ إذ يمكنك تخزين البتة في إضاءة مصباح أو علم أو كارت مثقوب أو قطعة من شريط ممغنط ـ فلن يكون مهمًّا أيضًا الشيء الذي كتبت عليه الكيوبتة. قد تمثّل الكيوبتة موضع الإلكترون في مقياس التداخل؛ يسارًا يكون (0)، ويمينًا يكون (1)، وتطابق التراكب يسارًا ويمينًا يكون (1&0). قد يمثّل توجه غزل الذرّة: لأعلى أو لأسفل أو (لأعلى ولأسفل). وقد يمثل استقطاب الفوتون: عمودي أو أفقي أو (عمودي وأفقي). فالذي يهم ليس الوسط الذي تكون عليه الكيوبتة لكن المعلومات الكمية التي تمثلها الكيوبتة.

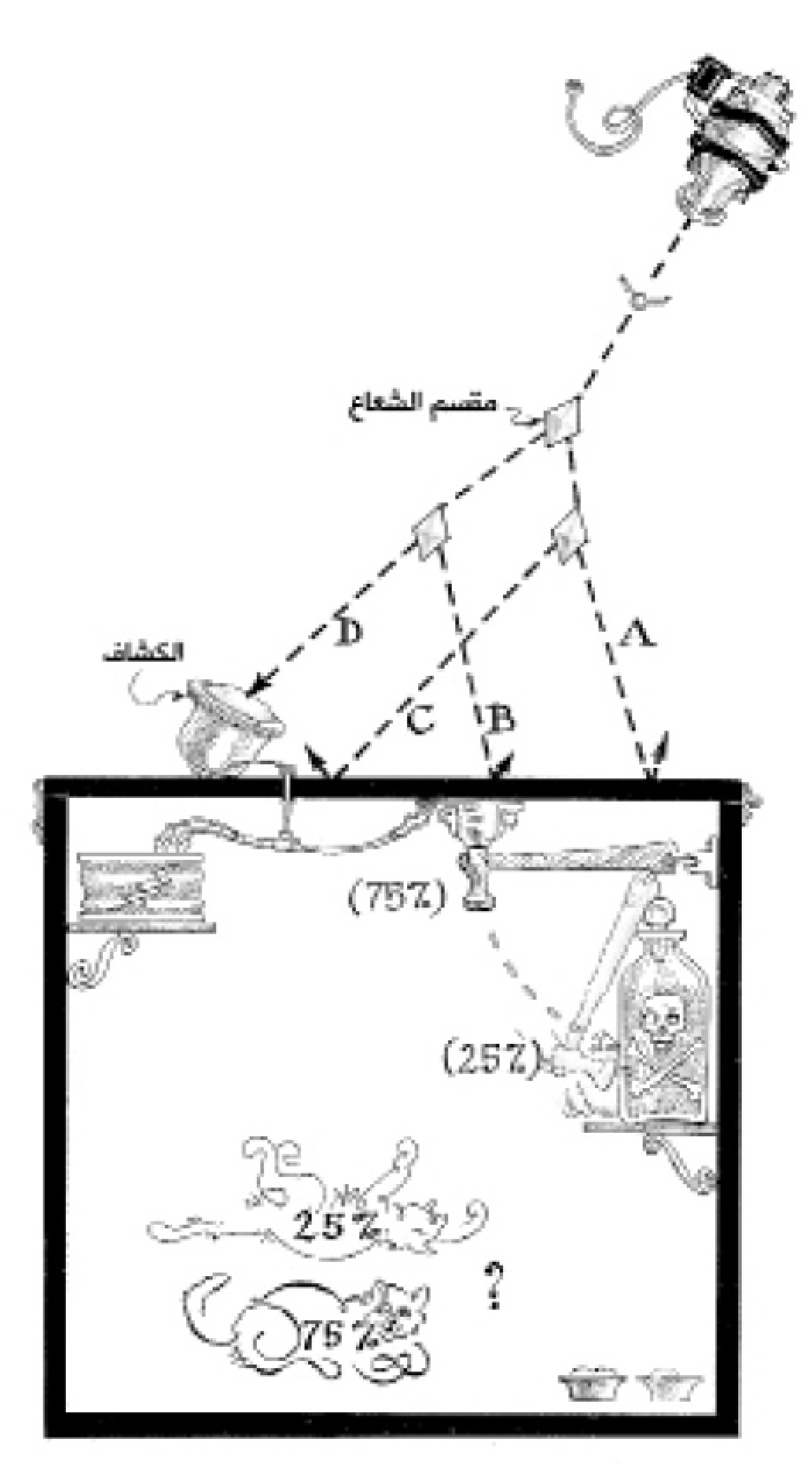
يرجع التناقض الظاهري لقطة شرودنجر للاختلاف بين الكيوبتات والبتات العادية. الذرّة أو الإلكترون أو أي شيء كمي آخر يمكن وضعه في حالة تطابق تراكب، ليأخذ كلا المسارين الأيسر والأيمن في الوقت نفسه. بمعنى أن هذا يخزن كيوبتة على الذرّة: إنه في حالة (1&0) أكثر منه في حالة (0) أو (1) صافية. فعندما تدخل الذرّة الصندوق فإنها تنقل تلك الكيوبتة إلى القطة. وتدخل القطة في حالة (1&0) التي كانت فيها الذرّة. الاختلاف الوحيد هو أن (1&0) لم تعد منذ الآن تمثّل تطابق تراكب «المسار الأيسر» و«المسار الأيمن» كما حصل مع الذرّة. في حالة القطة، (1&0) تمثّل تطابق التراكب لحالة (حية وميتة). لقد تغيّر شكل المعلومات، لكن المعلومات ذاتها، الكيوبتة (1&0)، تبقى كما هي.

نظرية معلومات الكم ـ دراسة الكيوبتات ـ هي منطقة ملتهبة في الفيزياء حاليًا. فعلى الجانب العملي، الكيوبتات يمكنها عمل أشياء لا يمكن للبتات الكلاسيكية عملها. الآلات التي تتعامل مع الكيوبتات، الكمبيوترات الكمية، تستطيع القيام بأشياء يستحيل على الكمبيوترات الكلاسيكية القيام بها. نظريًّا فإنّ الكمبيوترات الكمية أقوى بكثير ممّا يمكن للكمبيوترات الكلاسيكية أن تكون عليه. إذا قمت ببناء واحد كبير بما يكفي سيكون بمقدورك تفكيك كلّ الشفرات على الإنترنت، كأنك تلهو بلعبة، ويمكنك التنصت على أي معاملة تجارية آمنة على الإنترنت. تفكيك الشفرة، وسرقة أرقام كارت الائتمان والمعلومات الشخصية التي يجرى تبادلها، شيء يتجاوز مدى أفضل الكمبيوترات الفائقة في العالم. وليس مصادفة أن وزارة الدفاع الأمريكية تولى اهتمامًا بالغًا للتطوّرات في مجال الحوسبة الكمية quantum computing، وتعدّ القوّة الكامنة للحوسبة الكمية سببًا في أن منظري المعلومات الكمية يجدون صعوبات قليلة لتمويل أبحاثهم. إلا أن التطبيقات العملية ليست هي السبب في اهتمام العديد من العلماء بالكمبيوترات الكمية: فهم يرون أن الحوسبة الكمية طريقة لفهم التناقضات الظاهرية لميكانيكا الكم. كما سيتضّح بعد قليل.

أيًّا ما كانت الأسباب التي يعطيها الناس لدراسة الحوسبة الكمية، وقبل أن تبدأ في تفكيك الشفرات أو ابتكار تناقضات ظاهرية كمية في مختبرك، عليك أن تكون قادرًا على معالجة وتخزين الكيوبتات. بما يعنى أنك في حاجة لجلب أشياء كمية إليها لتخزين معلوماتك الكمية. في مختبر رأي لافلام يستخدم علماء الفيزياء ذرّات في سائل. وجزيء مثل الكلوروفورم له عدد من ذرّات الكربون في صف ـ عددًا من أنوية الكربون محاطة بسحابات إلكترونية. كلّ نواة كربون لها غزل

مصاحب لها. في العادة، يتوجّه الغزل كيفما اتفق، لكن مع وجود مغناطيس قوي فإنها تحاول الاصطفاف بمحاذاة المجال المغناطيسي. وقد استخدم لافلام هذا الميل لجعل الذرّات تتوجّه بالطريقة التي يريدها. يمكنه إجبار النواة لتتوجّه لأعلى أو لأسفل، مخزنًا (1) أو (0)، أو يمكنه وضعها في حالة تطابق تراكب حالة (1&0)، بأن يخلط بدقة تسلسلًا موقوتًا من نبضات موجات الراديو مع المجال المغناطيسي. إذا قست حالة تطابق التراكب تلك كمحاولة لتحديد الحالة التي يكون عليها، فستنهار بنسبة 50% من المرّات معطية القراءة (0). وفي 50% من المرّات معطية القراءة (1)، لكن إلى أن تقوم بأخذ هذا القياس فستكون في حالة تطابق التراكب، تمامًا مثل قطة شرودنجر.

ليست كلّ حالات تطابق التراكب بهذه البساطة. وكما في العملات المنحازة biased coins - كأن تكون على ظهرها بنسبة 75% من المرّات - هناك انحيازٌ في تطابق التراكب. تخيّل، في تجربة شرودنجر الأولية، أننا قد أضفنا طبقة إضافية لمقياس التداخل. وكما فعلنا من قبل، نرسل الإلكترون خلال مقسم الشعاع الذي يضعه في تطابق التراكب لحالتين محتملتين: اليسرى واليمنى، أنه في حالة (1&0). لكن هذه المرّة، كل من هذين المسارين سيؤدّي إلى مقسم شعاع آخر. الإلكترون الآن في أربع حالات من تطابق التراكب. سيكون وجوده متوقعًا في أربعة أماكن مختلفة بشكل متزامن. المسار (أ) والمسار (ب) والمسار (ج) والمسار (د)، وإذا قمنا بالقياس، فسيكون هناك فرصة بنسبة 25% لأن نقيس الإلكترون في أي مسار منهم. إذا أدّى المسار (د) فقط إلى الزناد الذي يكسر قارورة السم، عندها فستكون هناك فرصة بنسبة 25% لأن تموت القطة و75% من المرات لأن تعيش عندما تفتح الصندوق. لكن إلى أن نفتح الصندوق فإن القطة ستكون في حالة تطابق تراكب بنسبة 75% حيّة وبنسبة 25% ميتة. إنها في الحالة الكمية التي يمكننا تقديمها كالتالي ([75%] 0 & [25%] 1). وهذا هو، فالقطة تكون حية وميتة بشكل متزامن، إنها في حالة تطابق تراكب، لكن مثل العملة المنحازة، عندما نقيس الحالة ستكون الفرصة التي تنتهي إليها القطة حية أكثر ثلاث مرات من كونها ميتة. عندما تقيس القطة ستجدها ثلاث مرات من أربعة (0) حية، ومرة واحدة من أربعة (1) ميتة.



قطة شرودنجر المعدّلة، حيث تكون فرصة موتها بنسبة 25%

إن تطابق التراكب هذا صالح تمامًا مثل تجربة قطة شرودنجر الأصلية، وله احتمالات تختلف بشكل طفيف فقط بالنسبة لنتائج القياس. في الواقع، هناك الكثير والكثير من الإمكانات لمختلف أنواع تطابق التراكب بمختلف النتائج المحتملة. إذا قمت بإعداد التجربة بشكل صحيح، فسيمكنك معالجة تطابق التراكب، لذا فالقطة حية بنسبة س% من المرات وميتة بنسبة ص% من المرات، إنها حالة كما يلي ([س%] 0 & [ص%] 1)، حيث (س) و(ص) تعادلان النسبة المئوية. لاحظ أن الحالة البسيطة التي سميناها (0&1) من قبل هي في الحقيقة حالة ([50%] 0 & [50%] 1). ولأن تلك الحالة غير المنحازة بخاصة ستظهر وستعاود الظهور كثيرًا في هذا الكتاب، فسأظل أحيلها إلى حالة (0&1) للإيجاز إذا سمح سياق الكلام.

إن مغناطيس لافلام الهائل يمكنه وضع أنوية الذرات في أية حالة يريدها العلماء. فيمكنهم تخزين أي كيوبتة ([س%] 0 & [ص%] 1) لأي (س) أو (ص) يرغبونها على غزل تلك الأنوية. ويمكنهم معالجة تلك الكيوبتات بالمجالات المغناطيسية وموجات الراديو بالضبط كما يعالج الكمبيوتر الأصفار والآحاد بالتيار الكهربائي. على سبيل المثال، فإن الكمبيوتر يمكنه إلغاء البتة إذا بدأت كـ (0)، ثم يتحوّل الإلغاء إلى (1) والعكس بالعكس. ويستطيع لافلام وعدد من الباحثين إلغاء الكيوبتة. إذا بدأت بشيء كمي يخزن الكيوبتة ([س%] 0 & [ص%] 1)، بعد الإلغاء فإن هذا الشيء سيخزن الكيوبتة ([ص%] 0 & [س] 1) إنه الإلغاء الكمي quantum negation، يستطيع العلماء أيضًا القيام بأشياء أخرى عديدة لتلك الكيوبتات. ومن خلال التقنيات المتعدّدة (التي تعتمد على إذا ما كانت الكيوبتة مخزنة في غزل الذرّة أو في استقطاب الضوء أو في أية خاصية كمية أخرى) يمكنهم معالجة كيوبتة المعلومات الكمية بطرق على درجة من التعقيد تشبه معالجة كمبيوتر للبتات التقليدية الخاصّة بالمعلومات الكلاسيكية. بمعنى ما، فإن العلماء في كلّ أنحاء البلاد يقومون ببناء كمبيوتر كمّي أوّلي.

أثبت عالم الفيزياء بيتر شور Peter Shor في عام 1995 أن الكمبيوترات الكمية التي من هذا النوع يمكنها ضرب الأرقام بشكل أسرع بشكل مهول ممّا يستطيعه أي كمبيوتر كلاسيكي آخر، وهذا بدوره سيجعل أعظم جهاز لفك الشفرات قد عفا عليه الزمن.

إن المفتاح العام لفكّ التشفير والذي يعد من أسس تفكيك الشفرة على الإنترنت، هو طريق للمعلومات أحادي الاتجاه. إنه كإلقاء خطاب في صندوق البريد. فأي شخص يمكنه تشفير رساله كما يمكنه إلقاء خطاب في صندوق البريد. لكن الشخص الوحيد الذي له الحقّ في «مفتاح» التشفير يمكنه فكّ تشفير الرسالة. بالضبط كما يستطيع رجل البريد أن يفتح صندوق البريد ويستعيد كل المعلومات بداخله. يمكن قيد المعلومات لكن لا يمكن استرجاعها إلا إذا عرفت المفتاح السري. صندوق البريد هو أداة باتجاه واحد لأنه يعتمد على الشكلّ الذي يسمح بإلقاء الخطاب إلى داخله بسهولة لكن من الصعب جدًّا حشر ذراعك بداخله لاستخراج الخطاب. المفتاح العام لأنظمة فكّ التشفير هي أداة باتجاه واحد لأنها تعول على الدالات الرياضية التي يسهل وضعها ويصعب فكّها. مثل الضرب multiplication.

بالنسبة للكمبيوترات من السهل جدًّا جدًّا ضرب رقمين ببعض. يمكن أيضًا ضرب أرقام هائلة في غضون أجزاء على ألف من الثانية milliseconds. لكن في المقابل يصعب جدًّا جدًّا تحليل الأرقام المضروبة. إذا اخترت بحكمة رقمًا ضخمًا بما يكفي كهدف، فحتّى أفضل الكمبيوترات

التقليدية في العالم لن تستطيع إطلاقا استنتاج أي رقمين يتم ضربهما معًا لإنتاج الرقم الذي تم اختياره كناتج للضرب. هذه هي الوسيلة ذات الاتجاه الواحد التي تقع في قلب معظم المفاتيح العامة للتشفير، إن صعوبة تحليل الأرقام هي ما يجعل تلك الشفرات مأمونة.

عندما أثبت شور أن الكمبيوتر الكمي يستطيع تحليل الأرقام بطريقة تفوق بمرات عديدة جدًّا جدًّا سرعة الكمبيوتر التقليدي، جاء اكتشافه متسقًا مع الجوهر الذي جعل المفتاح العام للتشفير آمنا. الرقم الذي ربّما يستغرق من الكمبيوتر التقليدي كلّ حياة الكون لتحليله ربّما يستغرق من الكمبيوتر الكمي عدّة دقائق فقط. لقد قادت خوارزمية algorithm شور الطريقة الخاطئة على هذا الطريق ذو الاتجاه الواحد، جاعلة تحليل الأرقام سهلًا مثل ضربهما تمامًا. وعندما أصبح من السهل تحليل الأرقام أصبح المفتاح العام للتشفير بلا فائدة. وفي القلب من خوارزمية شور يأتي غموض المعلومات الكمية: الكيوبتات جعلت الأشياء ممكنة بعد أن كانت مستحيلة بالنسبة للكمبيوترات التقليدية.

تحليل الأرقام بالغة الكبر ليس العملية «المستحيلة» الوحيدة التي يستطيع أن يقوم بها الكمبيوتر الكمي. فالكمبيوترات الكمية يمكنها أن تضرب عرض الحائط بالآراء المقدّسة للنظرية التقليدية للمعلومات. تذكر لعبة «خمّن رقمًا» في الفصل الثالث، إذا فكرت في رقم من 1 إلى 1000، يمكنك تخمين الرقم باستخدام سلسلة من الأسئلة التي يجاب عنها بـ نعم/لا. النظرية التقليدية للمعلومات تقول إنك بحاجة إلى عشرة أسئلة يجاب عنها بـ نعم/لا لكي تكون متأكدًا بنسبة 100% من تخمين الرقم بشكل صحيح. تحتاج إلى عشرة بتات من المعلومات لإزالة أي عدم يقين تمامًا عن الرقم الذي أفكر فيه. في عام 1997 أثبت عالم الفيزياء لوف جروفر Lov Grover في معامل بيل بنيوجيرسي، أن الكمبيوتر الكمي يمكنه أن يقوم بذاكرة سعتها عشرة كيوبتات بالمهمة نفسها بأربعة أسئلة يجاب عنها بـ نعم/لا. الفرق بين الكمي والتقليدي يصبح أعمق كلّما أصبحت المشكلة أكبر. المشكلّة التقليدية التي تتطلّب 256 سؤالًا يجاب عنها بـ نعم/لا، من الممكن حلّها بستة عشر تساؤلًا فقط يجاب عنها بـ بنعم/لا باستخدام كمبيوتر كمي كبير بما يكفي.

كان شانون سيرى أن خوارزمية جروفر مستحيلة. لأن النظرية التقليدية للمعلومات تقلل السؤال إلى جوهر غير قابل للانضغاط، وسيكون مستحيلًا الإجابة عن سؤال يحتمل 256 بتة من المعلومات بستة عشر تساؤلًا فقط يجاب عنهم بـ نعم/لا. لكن هذا بالضبط مافعلته خوارزمية جروفر. لِنرَ كيف، دعنا نأخذ مشكلة أصغر قليلًا بشكل ما. لدينا قفل مركب بست عشرة تركيبة محتملة، من 0 إلى 15. فقط واحد منها (فلنقل، 9) هو التركيب الصحيح الذي يفتح القفل.

في النظرية التقليدية للمعلومات، سنحتاج لأن نسأل أربعة أسئلة يجاب عنهم بـ نعم/لا عن التركيب لكي نستنتج التركيب الصحيح. ها هي الأسئلة الأربعة التي ربما تكفي.

السؤال الأول: هل التركيب الصحيح فردي؟ التسعة بالتأكيد رقم فردي لذا فالإجابة هي نعم (1)

السؤال الثاني: اقسم رقم التركيب على 2 ثم قربه للأدنى إلى رقم صحيح. هل الناتج رقم فردي؟ ناتج قسمة تسعة على 2 هو 4.5، وبتقريبه للأدنى يصبح 4. لذا، لا، الإجابة هي (0)

السؤال الثالث: قم بالشيء نفسه مرة أخرى، اقسم الناتج على 2 وقربه للأدنى، هل الناتج رقم فردي؟ أربعة مقسومة على 2 تصبح، 2 رقم زوجي، لذا الإجابة هي لا (0).

السؤال الرابع: مرة أخرى قم بالشيء نفسه هل الناتج رقم فردي؟ اثنان مقسومة على 2 النتيجة 1,1 رقم فردي، لذا الإجابة هي نعم (1).

أربعة أسئلة، أربع إجابات، وهناك فقط رقم محتمل في النطاق من 0 إلى 15 هو الذي يلبي كلّ الإجابات الأربعة: 9. (ربّما لاحظ قراء دورية عبقرية الرياضيات math-savvy إن أسئلتنا قد اختزلت الرقم 9 إلى شفرة ثنائية: 1001). فقط بعد هذه الأربعة أسئلة ـ أو أربعة أسئلة بالتركيبة نفسها، بمثل هذا التنوع الأعلى/الأقل ـ ربما سنعرف أن التركيب الصحيح هو الرقم 9 ونستطيع استخدامه لفتح القفل.

مع ذلك فإن خوارزمية جروفر تتخذ مقاربة مختلفة كلّيا. فهي بالأساس، تستخدم مبادئ تطابق التراكب والتشابك، وتسأل كلّ الأسئلة مرة واحدة، بدلًا من سؤال في المرّة الواحدة. وأكثر تحديدًا، فإن خوارزمية جروفر تستخدم أربع كيوبتات، كلّ منها يبدأ بتطابق تراكب متوازن: ([50%] 0 & [50%] 1) لكن الأربعة مرتبطون عن طريق التشابك. كما لو أن الأربع كيوبتات من شيء واحد كبير. وهو نوع من المظهر الفوضوي، لكن ما حصلنا عليه هو شيء في حالة تطابق تراكب:

[([50%] 0 & [50%] 1) ([50%] 0 & [50%] 1) ([50%] 0 & [50%] 1) ([50%] 0 & [50%] 1)]

إذا كنا نقوم بأخذ القياس فورًا، فإن الكيوبتة الأولى لها فرصة زوجي ـ فردي لتكون (0) أو (1)، تمامًا مثل الكيوبتة الثانية والثالثة والرابعة. في الجوهر، فإن لدينا ست عشرة محصلة مختلفة، كلّ منها في وضع تطابق تراكب على الأخرى:

0000، 0001، 0010، 0011، 0100، 0101، 0110، 0111، 1000، 1001، 1010، 1011، 1100، 1101، 1110، 1111.

في التشفير الثنائي، تلك هي كلّ الأرقام من 0 إلى 15، كلّها في تطابق تراكب.

الخطوة التالية في خوارزمية جروفر هي المعادل الرياضي لإجبار ذلك الشيء الهائل متطابق التراكب في القفل المركب. بالأساس، إنه يسأل سؤالًا يجاب عنه بـ نعم/لا: هل هذا الشيء ذو الأربع كيوبتات ملائم؟ وتاتى الإجابة في شكل لا يكشف مباشرة عن تركيب القفل. لكن فعل الاكتظاظ له تأثير على الكيوبتات، فتتغيّر الاحتمالات لذا لم يعد تطابق التراكب بعد الآن (50:50). وتصبح الإجابات الخاطئة أقل احتمالية، والإجابات الصحيحة تصبح أكثر احتمالية. في حالتنا، عندما يكون التركيب الصحيح 9، أو 1001 بالطريقة الثنائية، فإن الأربع كيوبتات التي تستخرج من القفل ربما ستبدو كالتالي:

[([25%] 0 & [75%] 1) ([75%] 0 & [25%] 1) ([75%] 0 & [25%] 1) ([25%] 0 & [75%] 1)]

بتمرير هذه الفوضى خلال القفل مرة أخرى، سيتم إحراز الإجابات الصحيحة والإجابات الخاطئة ستتناقص منتجة:

[([0%] 0 & [100%] 1) ([100%] 0 & [0%] 1) ([100%] 0 & [0%] 1) ([0%] 0 & [100%] 1)]

بالنسبة لمشكلة تقليدية تتطلّب عدد N من الأسئلة، فستحتاج لتمرير $\sqrt{N}$ للوصول إلى تلك النقطة. وبطمس الإجابات الخاطئة، فكلّ ما سيتبقّى هو الإجابات الصحيحة. إذا قمت بقياس الأربع كيوبتات، فإن تطابق التراكب سينهار ليعطيك 1001 ـ التركيبة الخاصة بالقفل. تسأل خوارزمية جروفر فقط أسئلة يجاب عنها بـ نعم/لا مرتين. هل هذا الشيء ذو الأربع كيوبتات ملائم؟ لكن لأن هذا الشيء ذو الأربع كيوبتات في تطابق تراكب، فإنه حقيقة يسأل سؤالًا إجابته بـ نعم/لا عن عدد من التراكيب بشكل متزامن. الأمر يحتاج لقليل من التدليك الرياضي mathematical massaging للتأكد من استخراج الإجابة السليمة ـ ومن ثم فالاثنان يمرّان. مع ذلك، فإن الكمبيوتر الكمي قادر على أن يسأل أسئلة يجاب عنها بـ نعم/لا أقل ممّا تحتاجه الكمبيوترات التقليدية.

بالنسبة للمشكلّة التي تتطلّب أربع بتات من المعلومات، فإن خوارزمية جروفر لديها الحلّ في سؤالين، وهذا تحسن لكنّه غير مذهل. لكن بالنسبة للمشاكلّ الكبرى، مثل تلك التي تحتاج إلى 256 بتة من المعلومات أو أكثر، فإن الفرق هائل بين الزمن الذي تستغرقه لسؤال $\sqrt{N}$ من الأسئلة بالمقارنة بسؤال N من الأسئلة. إنه يعني الفرق بين ثوانٍ قليلة من الحساب وبين الحاجة لأعظم الكمبيوترات قوّة للعمل من بداية الكون إلى نهايته قبل الحصول على الإجابة الصحيحة.

إن خوارزمية شور التحليلية تستخدم الكيوبتات بالطريقة نفسها. لقد جربت العديد من أرقام تطابق التراكب، جميعها في الوقت نفسه. مجموعة من الكيوبتات في تطابق تراكب وجميعها مترابط معًا بما يسمح لك باختبار زليونات zillions التراكيب في المرة الواحدة. كما لو أن لديك مفتاحًا رئيسًيا لجميع أقفال التشفير في الكون. المعلومات الكمية قوّية على نحو ضخم، لكن لدى العلماء مشكلة في تسخيرها.

لقد ولد أول كمبيوتر كمّي في عام 1998، فقد استخدم عالما الفيزياء إسحق شوانج Isaac Chuang ونيل جريشينفيلد Neil Gershenfeld اللذان يعملان في IBM وMIT على التوالي، تجهيزًا شبيهًا تمامًا بتجهيز راي لافلام ليكون قلب الكمبيوتر الذي صمّماه. كان الكمبيوتر ذاته مصنوعًا من ذرّات في مجال مغناطيسي قوي، وكانت الكيوبتات هي الغزل على تلك الذرّات. وبمعالجة المجال المغناطيسي بحرص، جعل شوانج وجريشينفيلد غزل الذرّات يتراقص طبقًا لخوارزمية جروفر. فالذرّات تتلّوى وترتد، وبعد أن تقوم ذرّة بتمرير كيوبتتين يقوم الكمبيوتر الكمي بالتقاط الرقم المستهدف بشكل صحيح ضمن الاختيارات الأربعة الممكنة. إنه يقوم بشيء كان مستحيلًا تقليديًّا.

لكن البحث في مجال الحوسبة الكمية يسير ببطء شديد. في عام 2000، أعلن لافلام أنه ابتكر كمبيوتر كمي بسبعة كيوبتات، وفي عام 2001 استخدم شوانج كمبيوتر مماثل ذي سبعة كيوبتات مع خوارزمية شور لتحليل الرقم 15 إلى 5 و3. الأمر الذي يمكن لصبي عمره عشر سنوات القيام به دون لحظة حيرة(********). إلا أنه كان علامة كبرى فارقة للحوسبة الكمية، فقد كانت المرّة الأولى التي يتمكّن فيها أي شخص من تشغيل خوارزمية شور.

المشكلة أنه لكسر الشفرات على النت، ستحتاج إلى الكمبيوتر الكمي الذي يستخدم مئات الكيوبتات، مرتبطة جميعًا بالتشبيك. لقد صارع العلماء للحصول على عشرة كيوبتات الآن وفورًا. ومن المتفق

عليه عمومًا أن التقنية التي استخدمها لافلام وشوانج وجريشينفيلد وآخرون لا يمكن زيادتها أكثر (********). سيكون على المهندسين التحوّل إلى تقنيات أخرى لصناعة كمبيوترات كمية، سيكون عليهم تخزين الكيوبتات على وسائط أخرى إلى جانب الذرّات في مجال مغناطيسي قوي. لكن كلّ وسيط جربوه ـ استقطاب الضوء أو شحنة على فخّ السليكون silicon trap تسمّى نقطة الكم أو اتجاه التيار في قطعة سلك دقيقة ـ كان له آثار جانبية تجعل من الصعب ابتداع كلّ باقة الكيوبتات المتشابكة بعضها ببعض. ليس في تلك التقنيات حاليا ما هو أكثر تطورًا من كمبيوتر غزل الذرّة الكمي.

بالمقارنة، فحتّى أول كمبيوتر تجاري تقليدي (UNIVAC) كان لديه عشرات آلاف البتات في الذاكرة. وبأناقة الكمبيوتر الكمومي ذى السبع أو العشر كيوبتات إلا أنه لا يستخدم كثيرًا أبدًا من قبل مفككي الشفرة. وليس مؤكدا أن العلماء سيقدرون تمامًا على بناء كمبيوتر كمّي كبير بما يكفي لتفكيك الشفرات التجارية. مع ذلك، فالعلماء متحمّسون للتلاعب بأجهزة الكمبيوتر الكمية الدقيقة، ويجب فعل هذا لسبب حقيقي، إن العلماء شغوفون بنظرية المعلومات الكمية. إن تفكيك الشفرات ممتع وهامّ، لكنّه لا شيء مقارنة بالأسئلة التي يطرحها العلماء عن الطبيعة. وعندما يعالج العلماء حتّى كيوبتة واحدة، فإنهم يحاولون فهم طبيعة المعلومات الكمية. وبفهم المعلومات الكمية، سيتمكّنون من فهم مادة الكون، لغة الطبيعة ككلّ.

إن السبب الذي يثيره علماء المعلومات الكمية تمامًا فيما يخصّ مجال اهتمامهم هو التناقضات الظاهرية لميكانيكا الكم. إنها تنتهي لأن تكون جميع تلك التناقضات الظاهرية في جوهرها، تناقضات بخصوص تخزين المعلومات ونقلها.

على سبيل المثال، التناقض الظاهري لقطة شرودنجر يأتي من محاولة تخزين كيوبتة على شيء كلاسيكي. لعدّة أسباب، لا يمكنك تخزين كيوبتة على قطة، شيء ما يمنع الأشياء الكبيرة والتقليدية واللينة مثل القطط من أن تستخدم كوسيط للكيوبتات. القطط تستطيع تخزين البتات الكلاسيكية بدقة، لذا فحفظ مسار من الآحاد (1s) والأصفار (0s) بقتل أو إبقاء سلسلة من القطط حية، سريعًا ما يصبح مكلّفًا. لكن عندما تحاول تخزين كيوبتة (1&0) على قطة، فستحصل على تناقض شرودنجر السخيف. ويحدث شيء عجيب عندما تحاول نقل كيوبتة من شيء كمّي إلى شيء كلاسيكي ـ فلنقل من إلكترون إلى قطة.

وبالمثل، فإن مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج هو مشكلة نقل المعلومات. عندما تقيس خاصية جسيم ـ فلنقل موضع ذرّة ـ فأنت تنقل المعلومات من شيء كمّي (الذرّة) إلى آخر (مثل الجهاز الذي يسجّل موضع الذرّة). إلا أن رياضيات ميكانيكا الكم تقول إنك لا تستطيع جمع المعلومات عن صفتين متكاملتين لشيء كمّي في الوقت نفسه. فعلى سبيل المثال، لا يمكنك معرفة موضع جسيم وكمية حركته بشكل متزامن. إن فعل القياس، نقل المعلومات من الجسيم إليك، سيؤثّر على النظام الذي تقيسه. عندما تجمع المعلومات عن موضع الجسيم، فستفقد المعلومات عن كمية حركته.

وغرابة التشبيك هي أيضًا مشكلة نقل المعلومات. عندما تقيس جسيم واحد من زوج EPR، فأنت تحصل على المعلومات عن كلا الجسيمين. ويبدو الأمر كما لو أنك تنقل المعلومات من شيء بعيد جدًّا إلى آلة قياس خاصة بك بأسرع من سرعة الضوء. ولأن عملية نقل المعلومات تؤثّر على الجسيم الذي تنقل منه المعلومات، فيبدو الأمر كما لو أنك تقوم بمعالجة جسيم في منتصف المسافة

عبر الكون. ما طبيعة الصلة بين جسيمين متشابكين؟ كيف «يتآمر» شيئان للبقاء متشابكين عندما لا توجد طريقة لتبادل المعلومات بينهما حتّى بسرعة الضوء؟

مع أن معظم العلماء يعتقدون أن قوانين نظرية الكم ينبغي أن تنطبق على كلّ شيء - على القطط كما على الذرّات - إلا أن الأشياء الكبيرة لا تظهر بوضوح سلوكًا كميًا كما تظهره الأشياء الدقيقة. إذا فعلت ذلك، إذا تصرفت الأشياء الكلاسيكية مثل الأشياء الكمية، فلن تبدو النظرية الكمية غريبة، وسنكون معتادين عليها. لكن ميكانيكا الكم غريبة، إنها سخيفة بكلّ ما في الكلمة من معنى، والعنصر المركزي في كلّ تلك السخافة هو فعل نقل المعلومات الكمية. عندما تقوم بقياس وتجميع المعلومات عن شيء كمي، أو عندما تنقل معلومات كمية من ذرة أو فوتون أو إلكترون إلى شيء آخر، تصبح الأشياء عجيبة على الأرجح.

في الواقع، كلّ غرابة النظرية الكمية - كلّ سلوك الذرات والإلكترونات والضوء الذي يبدو مستحيلًا - لها علاقة بالمعلومات: كيف تخزن، كيف تنتقل من مكان لآخر، وكيف تتشتت. بمجرد أن يفهم العلماء القوانين التي تحكم تلك الأشياء، سيفهمون لماذا يتصرّف العالم تحت الذري بطريقة تختلف جدًّا عن طريقة العالم المرئي، لماذا لا تتواجد القطط في حالة تطابق تراكب من الحياة والموت بينما تكون الذرّة في مكانين في وقت واحد. سيفهمون لماذا «يشعر» أحد زوج EPR المتشابك باختيار الآخر في منتصف المسافة عبر الكون بالرغم من أن البشر لا يستطيعون قراءة ما في عقول بعضهم وهم على مسافة قريبة. ومع أن معظم العلماء يعتقدون أن قوانين نظرية الكم تنطبق على الأشياء الكبيرة بالإضافة إلى الأشياء الصغيرة. إلا أن هناك خلافًا واضحًا حول الطريقة التي تتصرّف بها الأشياء المرئية والمجهرية. تلك هي الأسئلة الأساسية لنظرية الكم، وهي التي استحوذت على تفكير العلماء منذ عشرينيّات القرن العشرين.

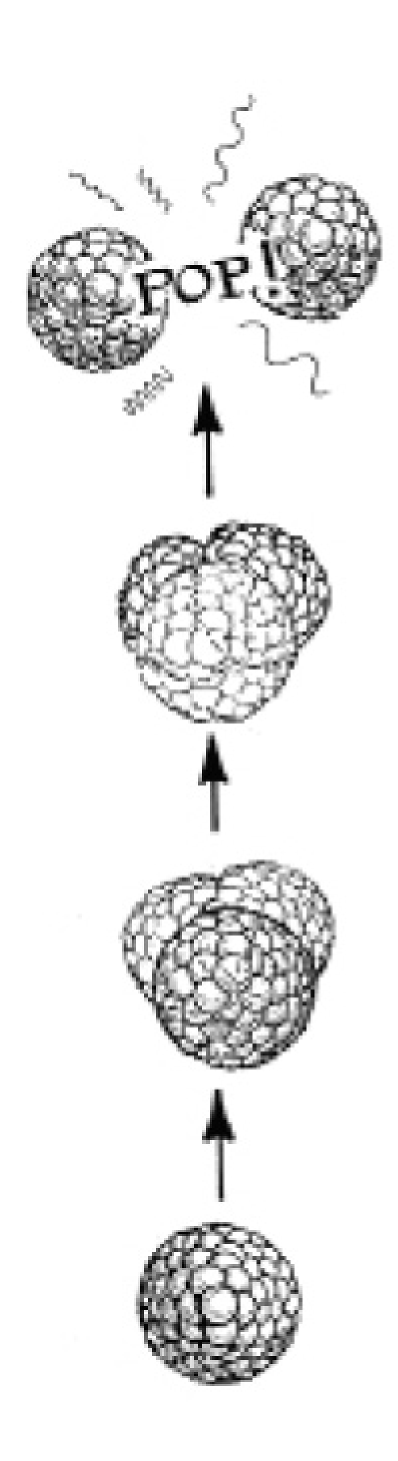
ربما كانت الإجابة على تلك الأسئلة في المتناول الآن، لهذا يمضي علماء المعلومات الكمية وقتهم في معالجة مجرد حفنة من الكيوبتات. ومع أن الكمبيوترات الكمية بعيدة جدًا عن تفكيك الشفرات وتحليل الأعداد، فإنها ما تزال قوية بشكل لا يصدق. ويمكن أن يستخدمها العلماء لفهم الطريقة التي تتصرف بها المعلومات الكمية. إذ يمكنها تخزين المعلومات الكمية ونقلها وقياسها ومشاهدتها تتشتت. القيمة الحقيقية للكمبيوترات الكمية ليست في البرامج التي تقوم بتشغيلها، لكن في المعرفة التي تمنحها للعلماء حول طريقة عمل العالم الكمي، حتّى إن كيوبتة مفردة يمكنها كشف القواعد التي تحكم نقل المعلومات الكمية. في الواقع، القيام بعملية بسيطة لقياس شيء كمي يقع في لبّ المأزق الكمي. وهذا الفعل البسيط له تأثيرات غريبة جدًّا.

مثل هذا الأثر يبدو غامضًا في البداية، لكنّه مزعج جدًّا لو تأملناه قليلا. يمكنك الحفاظ على ذرّة مشعّة من التحلل ببساطة عن طريق رؤيتها أو عن طريق قياسها. هذا يذهب ضدّ الحكمة المنطقية عن كيفية تصرف الذرات المشعّة.

الذرّة المشعّة لها نواة غير مستقرّة. على سبيل المثال فإن اليورانيوم 235 المفعم بالطاقة، سيحاول تمزيق نفسه إلى أشلاء. مع ذلك، فقوّة الربط التي تحفظ النيوترونات والبروتونات مرتبطة معًا تعمل على جعل تلك الطاقة مقيدة لفترة. وبشكل جزافي، تتحطّم النواة في وقت ما إلى قطعتين كبيرتين مطلقة كثيرًا من الطاقة. ولمدّة عقود، قام العلماء بقياس المعدل الذي تتحطم عنده تلك الأنوية، أو تتحلل. وإذا تركت على حالها، فإن ذرات اليورانيوم تفعل ذلك بالمعدل نفسه بالضبط.

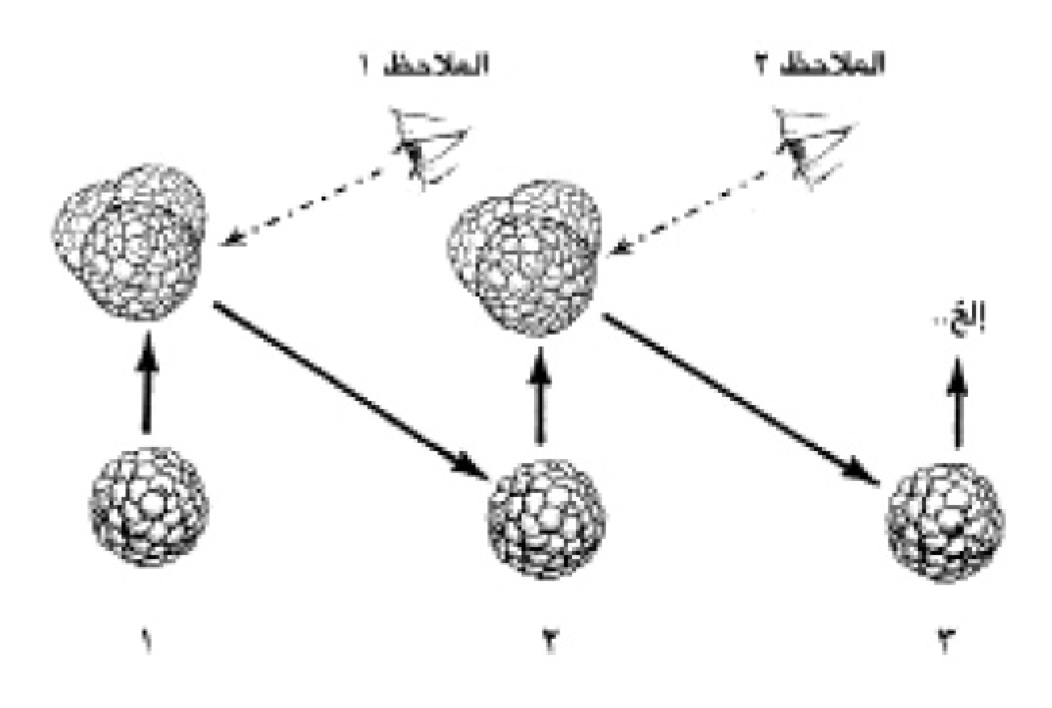
فكلّ نواة مشعّة لها معدل مميز تتحلّ به، هذا المعدل يعبر عنه بنصف ـ عمر half - life النواة، وهو خاصية أساسية لكلّ نواة مشعّة. اترك حفنة من أنوية اليورانيوم على حالها في وعاء، وبعد وقت معين ستجد أن عددًا متوقعًا منها قد تهدم. ويبدو أنه لا يمكنك عمل شيء لمنع تلك الذرّات من التحلل.

انظر للنواة بطريقة مختلفة قليلًا وسيظهر لك المخرج loophole. فمن منظور ميكانيكًا الكم، كلّ نواة غير مستقرّة هي فعليًّا قطة شرودنجر. إنها نواة في حالة تطابق تراكب باستمرار، حالة كمية واحدة (0) كما لو كانت النواة غير مقسمة إذا كان عدم الاستقرار سليمًا ولم يمس، في الحالة (0) تكون النواة شيئًا غير مفرد غير متحلّل. في الحالة الكمية الأخرى (1) تتحلّل النواة إلى قطعتين. عادة، تبدأ الذرّة في حالة تطابق التراكب التي تنحاز بقوة إلى الحالة (0) ـ حتّى إنها ربما تبدأ من حالة (0) خالصة ـ أو في تدوين أكثر إرباكًا حالة ([100%] 0 & [0%] 1). لكن بمرور الوقت، بتغيير الانحياز، يصبح تطابق تراكب النواة أكثر وأكثر وضوحًا. وكلّما مر الوقت، سيتطوّر إلى حالة ([99.9%] 0 & [0.1%] 1) ثم فلنقل إلى حالة ([98%] 0 & [2%] 1) ثم فيما بعد إلى الحالة ([85%] 0 & [15%]1). وعند نقطة معينة، عندما تصبح احتمالية الحالة (1) كبيرة بما يكفي، سينهار تطابق التراكب تلقائيًّا وتتحطّم النواة. كما لو أن الطبيعة قامت بقياس النواة وأن ضربة حظّ إلهية celestial coin flip قد قرّرت أن النواة في الحالة (1) ـ المتشظية إلى أجزاء ـ أكثر من كونها في الحالة (0) المتماسكة. (سيأتي ذكر المزيد عن هذا الانهيار التلقائي بعد قليل).



تحلّل النواة حسب منظور الكمّ

لكن طبقًا للنظرية الكمية، يمكنك العمل على إصلاح تحلّل النواة بلا جدوى ببساطة بقياسها مرّة تلو الأخرى. إذا انطلقت من الحالة النقية ([100%] 0 & [0%] 1) حيث النواة متماسكة. وإذا قمت بقياس النواة بمجرد أن يبدأ تطوّر تطابق التراكب، فلنقل بارتداد الفوتون عنها، ستضمن تقريبًا قياس أنها في الحالة (0). ليس لدى النواة الوقت لكي يتطوّر تطابق التراكب كثيرًا. فربما كانت في الحالة ([99.99%] 0 & [0.01%] 1) لذا فإن القياس غالبًا سينتج دائمًا (0): النواة لم تتشظّ. لكن فعل القياس يدمّر تطابق التراكب. قياس النواة سيعيدها إلى الحالة ([100%] 0 & [0%] 1) مرة أخرى. إن جمع المعلومات عن النواة سيمحو تطابق التراكب ويعيد النواة إلى الحالة النقية، ستعود إلى حيث بدأت. إذا قمت بقياس النواة بسرعة مرة أخرى، فستعيد ضبط reset تطابق التراكب مرّة أخرى، بسرعة مرّة أخرى وأخرى وأخرى. في كلّ مرّة ستضمن تقريبًا أن ترى نواة متماسكة. وفي كلّ مرّة، ستعيد ضبط النواة إلى حالتها النقية (0) المتماسكة. فالقياس السريع المتكرّر يحول دون تطوّر تطابق التراكب. وفي الحقيقة لن تصل النواة أبدًا للحالة (1) على الإطلاق، لذا فعلى الأرجح لا توجد فرصة لأن تتحلّل أبدًا. استمر في قياس النواة مرّة تلو الأخرى وسيمكنك الحيلولة دون تحلّلها. إنها الحقيقة، فالقِدر المراقب لا يغلي أبدًا a watched pot never boils.



تأثير زينو الكمي

القياس المتكرر يستطيع منع التحلّل النووي. هذا التأثير، يعرف بتأثير زينو الكمي(********) quantum zeno effect، الذي تم دراسته في المختبرات باستخدام أيونات وفوتونات محبوسة trapped. وقد اقترح العلماء المنظرون أن العكس قد يحدث: ربّما كان ممكنًا تحفيز ذرّة على التحلّل بمراقبتها عن كثب. فتأثيرات زينو وضدّ ـ زينو الكمية تبيّن أن فعل القياس ـ نقل المعلومات ـ ذو علاقة وثيقة بظاهرة فيزيائية حقيقية مثل التحلل النووى. وبشكل ما، المعلومات الكمية مرتبطة بالقوانين التي تحكم الكيفية التي تتصرّف بها المادّة.

في الواقع، يمكنك إعادة تشكيل مجمل العملية الفيزيائية للتحلّل النووي بلغة المعلومات الكمية. حتّى في غياب الملاحظ البشري، يمكن أن تشاهد الانقسام التلقائي للنواة الذرية كفعل لنقل المعلومات. تبدأ النواة في حالة نقية متماسكة، وتتطوّر إلى تطابق التراكب بين التحلّل والتماسك، مثل قطة شرودنجر، إنها في كلّتا الحالتين من التشظّي والتماسك في الوقت نفسه. وعندها يحدث شيء ما، شيء ما يجمع المعلومات عن النواة، شيء ما يقيس حالة الذرّة. شيء ما ينقل المعلومات حول حالة النواة إلى البيئة المحيطة. هذا النقل للمعلومات يعمل على انهيار تطابق التراكب، وبناء على ضربة الحظّ فإن النواة «تختار» سواء أن تكون في الحالة النقية (0) المتماسكة أو الحالة النقية المتحللة (1). إذا كانت الأولى فستبدأ العملية كلّها من جديد، وإذا كانت الثانية فإن النواة ستتحلّل تلقائيًّا بالضبط كما هو متوقّع أن تقوم به الذرّات المشعّة من وقت للآخر. هذه الصورة من التحلّل الإشعاعي منسجمة تمامًا، ويمكنك استخدامها للتنبؤ بعدد الذرات التي ستتحلّل في وقت معين، وستعطيك الإجابة الصحيحة. يمكنك رؤية التحلّل النووى كعملية لنقل المعلومات، لكن تبقى نقطة واحدة عالقة حول الـ «شيء» الذي يقوم بالقياس. فما هو الشيء الذي يقوم بجمع المعلومات عن الذرّة وينشرها إلى البيئة المحيطة؟

هذا الشيء هو الطبيعة. فالطبيعة ذاتها تقوم بالقياس باستمرار. وهذا هو المفتاح لحلّ التناقض الظاهري لقطة شرودنجر.

وعمومًا لا يرى العلماء أن الطبيعة كينونة من أيّ نوع. فالغالبية العظمي لا تعتقد أن الكون واعٍ. ولا يعتقدون أن مخلوقًا فوق طبيعي يدير الأمور بدقّة متناهية. ولكنّهم يعتقدن تمامًا أن الطبيعة ـ الكون ذاته ـ هو بمعنى ما، يقوم باستمرار بعمل قياسات على كلّ شيء.

الكون به فيض من الجسيمات. الشمس تمطر الأرض بوابل من الفوتونات، فشكرًا لتلك الجسيمات التي تدرك بها بئيتك بشكل جيد. عندما تنظر خارج النافذة إلى شجرة قريبة، يقوم دماغك بمعالجة المعلومات التي جمعتها الطبيعة لك. الفوتون القادم من الشمس يرتدّ عن ورقة الشجرة إلى عينك، والمعلومات عن تلك الشجرة ستكون هناك سواء وجدت شبكية عينك لاستقبال المعلومات أم لم توجد. وضوء الشمس الذي يشقّ طريقه إلى الشجرة هو قياس طبيعي، بمعنى ما، إنه يأخذ المعلومات عن الشجرة ـ فالشجرة طولها ستون قدمًا وخضراء وتتمايل في النسيم ـ وترسل تلك المعلومات إلى البيئة.

حتّى لو أغلقت عينيك وتجاهلت المعلومات في تلك الفوتونات، فستكون ما زلت قادرًا على إدراك الشجرة. تستطيع أن تسمع الرياح تخشخش في الأوراق، ويمكنك أن تحسّ بحركة جزيئات الهواء التي ترتطم بالشجرة وبعضها ببعض. هناك ما يتسبّب في موجات الصوت، فالنسيم يأخذ المعلومات عن الشجرة ويرسلها إلى البيئة. سواء كانت أذنك هناك لإدراك الخشخشة أم لا فإن تلك

المعلومات قد توزّعت في البيئة(********). بالطبع يمكنك قياس الشجرة بنفسك، يمكنك الاتجاه إليها ولمسها والشعور بضغط جزيئات اللحاء على جزيئات يدك. لكنك لست بحاجة للقيام بذلك لمعرفة أن الشجرة موجودة. يمكنك معالجة المعلومات التي جمعتها الطبيعة لك بالفعل عن الشجرة في هيئة ضوء وصوت. جسيمات الضوء وجسيمات الهواء هي مجسات الطبيعة، إنها أدوات الطبيعة للقياس. وأنت ببساطة تستقبل المعلومات المستقرة بالفعل على تلك الجزئيات.

أطفئ الشمس وقم بإزالة الغلاف الجوى للأرض، لن تعود مصادر المعلومات تلك متاحة لك بعد الآن. (مع أنك ستهتم جدًّا بدرجة أولى بأحاسيسك المفقودة إذا ما اختفت الشمس والغلاف الجوى فجأة، بالطبع!) لن يكون بمقدورك منذ الآن إدراك الشجرة عن طريق انعكاس الضوء أو من خلال موجات الصوت. وستغدو الأرض بلا هواء كالقار الأسود. ولن يتمكن إنسان من الإحساس بالشجرة من على بعد. لأن المدخلات الرئيسية لامتصاص المعلومات التي جمعتها الطبيعة لنا ـ عيوننا وآذاننا ـ لم تعد تستقبل أية إشارة. لكن لا يعني ذلك أن الطبيعة قد توقّفت عن قياساتها فقط لأن البشر لم يعودوا يستقبلون أية إشارة. فالأمر أكبر من ذلك.

الطبيعة لا تحتاج الشمس أو الرياح للقيام بقياس الشجرة. فالفوتونات تنهمر من النجوم البعيدة على الأرض. ومع أن عيوننا أضعف جدًّا من إدراك الشجرة فقط عن طريق ضوء النجوم، فإن العالِم الماهر الذي معه مستقبل الفوتونات يمكنه عمل تخطيط للشجرة، فالمعلومات لا تزال تنهمر إلى البيئة. الأرض نفسها، ولأنها أدفأ من الصفر المطلق، تشعّ الفوتونات أيضًا. الكاميرا ما تحت الحمراء يمكنها التقاط تلك الإشعاعات، وعند ارتدادها عن الشجرة فإنها أيضًا تبيّن صورة ظلية silhouette للشجرة. (الشجرة أيضًا تشعّ إشعاعات تحت حمراء تحتوي المعلومات، يمكننا فقط إيقاف ذلك بجعل الشجرة في الصفر المطلق). حتّى لو كانت شجرة متجمدة طافية في عمق الفضاء ومحجوبة عن دفء الأرض وضوء النجوم الشاحب، فإن الطبيعة لا تزال تقيس تلك الشجرة. إن الكون يعج بالفوتونات التي ولدت بعد برهة من الانفجار العظيم، وهي أيضًا تقرع الشجرة وتصطدم بها باستمرار، مجمعة المعلومات عنها ومرسلة إيّاها إلى البيئة.ّإنها حيلة بسيطة للتيقّن من أن المعلومات موجودة حقيقة. فوجود ملاحظ معه مقياس مضبوط جيّدًا سيمكنه تحديد الفوتونات وهي ترتدّ عن الشجرة.

حتّى بدون تلك الفوتونات، فإن الطبيعة لا تزال تقيس الشجرة. فالفضاء مشبع بالأشعّة الكونية من المجرات البعيدة، ومشبع أيضًا بالنيوترينات neutrinos ـ جسيمات دقيقة بلا وزن تقريبًا ونادرًا ما تتفاعل مع المادّة ـ القادمة من أبعد المجرّات عنا. إنها تمرّ أيضًا خلال الشجرة وترتدّ عنها. وبالرغم من أنه صعب تقنيًّا، فإن عالِمًا مسلّحًا بمستقبل مناسب سيتمكّن من تحديد الطريقة التي تعكس بها الشجرة تلك الجسيمات المارّة. فالمعلومات لا تزال تنتشر في البيئة.

ماذا سيحدث إذا قمنا بعزل الشجرة تمامًا عن الجسيمات التي تغمر الكون؟ ماذا سيحدث إذا حبسنا الشجرة في صندوق مفرّغ من الهواء في درجة الصفر المطلق ـ وبالتالي لا تشعّ ضوءًا ـ الصندوق سيقيها من النيوترينات والأشعّة الكونية والفوتونات والإلكترونات والنيوترونات وكلّ المجسّات الأخرى التي تستخدمها الطبيعة لجمع المعلومات؟ فهل سيكون بمقدورنا منع الطبيعة من الحصول على معلومات عن الشجرة؟ المدهش، أن الإجابة هي لا. لأن الطبيعة دائما ما تجد طريقة لجمع المعلومات عن الشجرة، حتّى في أعمق الأماكن المفرّغة، حتّى في الصفر المطلق.

حتّى لو حمينا الشجرة من كلّ الجسيمات ـ من كلّ الطرق التي تستخدمها الطبيعة لجمع المعلومات ـ فإن الطبيعة تصنع جسيماتها الخاصة في كلّ مكان في الفضاء. على أصغر مقياس، والجسيمات باستمرار تنبثق إلى الوجود وتخرج منه في طرفة عين. إنها تظهر، تجمع المعلومات، تنشرها في البيئة، وتختفي إلى لا شيء من حيث جاءت. تلك الجسيمات المضمحلة هي تقلّبات الفراغ vacuum fluctuations التي جاء ذكرها في الفصل الثاني، وهي تحدث في كلّ منطقة من الكون، حتّى في أعمق وأبرد المناطق المفرغة. تقلبات الفراغ تجعل من المستحيل حماية شيء تمامًا من قياسات الطبيعة. لقد طرحت نظريًّا (ثم جرى إثباتها تجريبيًّا) كنتيجة منطقية لمبدأ عدم اليقين لهايزنبرج.

كما شرحت في الفصل السابق، فإن مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج يعد قيدًا على المعلومات. لا يمكن لملاحظ أن يعرف بشكل متزامن وبدقّة تامّة خاصيتين متكاملتين لشيء ما في الوقت نفسه. على سبيل المثال، مستحيل أن يكون لديك معلومات دقيقة عن موضع الجسيم وكمية حركته في الوقت نفسه. في الواقع، فإن معرفة كلّ شيء عن موضع الجسيم يعنى أنه ليس لديك أية معلومة عن كمية حركته. لكن المعلومات لها علاقة بحالة الأنظمة الطبيعية. فالمعلومات موجودة، سواء استخلصها شخص ما وقام بمعالجتها أم لا. أنت لست بحاجة لوجود إنسان يقيس كمية حركة جسيم لكي يكون لهذا الجسيم كمية حركة. المعلومات هي خاصية موروثة للأشياء في الكون. ومبدأ عدم اليقين لهايزنبرج هو قيد على المعلومات. لذا، فمبدأ عدم اليقين لهايزنبرج في الحقيقة هو قانون عن الحالة الكمية للأشياء في الكون، وليس فقط عن قياس تلك الحالة الكمية.

عندما تقدم أكثر كتب العلم شعبية مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج، فإنها تتحدّث عن كيف أن القياس «يشوش» النظام الذي يجرى قياسه. إذا جعلت فوتونًا يرتطم بإلكترون لقياس موضعه مانحًا إيّاه دفعة صغيرة من الطاقة: فستتغير سرعته، مقلّلًا معلوماتك عن كمية حركة الجسيم. لكن هذا الوصف غير كامل، لأن مبدأ عدم اليقين يعمل سواء إذا ما كان هناك عالم يقوم بقياس أيّ شيء أم لا. إنه يعمل في كلّ أوجه الطبيعة، بصرف النظر عمّا إذا كان أي شخص يجمع المعلومات. إنه يعمل حتّى في أعمق أماكن الفراغ.

زوج آخر من الخاصيات المتكاملة في ميكانيكا الكم: الطاقة والزمن. اعرف بدقة كمية الطاقة التي يمتلكها جسيم ولن يكون لديك فكرة عن منذ متى كانت لديه تلك الطاقة والعكس بالعكس. فالقواعد في ميكانيكا الكم تقول إن هذا المبدأ ينطبق ليس فقط على الجسيمات لكن على كلّ شيء في الكون ـ حتّى على منطقة في الفضاء الفارغ.

الفضاء الفارغ؟ أليس مستوى الطاقة في الفضاء الفارغ صفرًا؟ حسنًا، لا، حسب مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج. إذا كان لديه بالضبط صفر من الطاقة، فسنعرف على وجه اليقين معلومة عن طاقة منطقة في الفضاء. وبتكاملية complementarity الطاقة/الزمن، لن يكون لدينا أية معلومة عن الوقت الذي احتفظت به تلك المنطقة من الفضاء بالطاقة، فلن يكون لديها طاقة فقط لفترة قصيرة من الزمن لا يمكن قياسها. وعمومًا، يجب أن يكون لديها بعض الطاقة. وبطريقة مماثلة عن طريق تكاملية طاقة الحركة/الوضع إذا كان لدينا تحديد دقيق جدًّا لمنطقة في الفضاء ـ إذا كنا ننظر إلى منطقة صغيرة جدًّا بقليل جدًّا من عدم اليقين ـ فسيكون لدينا معرفة قليلة عن مقدار كمية الحركة في تلك المنطقة. كلّما اقتربنا أكثر من منطقة أصغر وأصغر (وهكذا، سنلاحظ منطقة ما بدقة موضعية أكثر وأكثر) سنعرف قليلًا جدًّا عن كمية الحركة في المنطقة التي نلاحظها. لأن كمية

حركة مقدارها صفر بالضبط ستعني أن لدينا معلومات دقيقة بشكل مستحيل عن كمية الحركة في المنطقة، يجب أن تكون كمية حركة غير صفرية nonzero في تلك المنطقة. حتّى في الفراغ.

إنه لأمر عجيب بكلّ ما في الكلمة من معنى، كيف يمكن أن تحتوى منطقة في الفضاء طاقة وكمية حركة إذا لم يكن هناك شيئ يمكنه حمل تلك الطاقة وكمية الحركة؟ إن الطبيعة تعتني بذلك من أجلنا: فالجسيمات تنبثق إلى الوجود وتخرج منه باستمرار، إنها تولد وتحمل الطاقة وكمية الحركة لبرهة وجيزة من الوقت، ثم تموت. كلّما زادت طاقة الجسيم، قصرت مدة حياته بشكل عام (فشكرًا لعلاقة الطاقة/الزمن). وكلّما زادت كمية الحركة التي يحملها، صغرت المنطقة التي يحيا ويموت فيها (فشكًرا لعلاقة كمية الحركة/الموضع). بكلمات أخرى، حتّى في أعمق جزء من الفراغ، فإن الأجسام تتخلّق وتتلاشى، وكلّما اقتربت منها، زادت تلك الجسيمات وكلّما نقص عمرها، زادت الطاقة التي تحملها. تلك الجسميات تلتقي مصادفة بالأشياء، وتجمع المعلومات عن المواضيع التي تقابلها، وتنشر تلك المعلومات في البيئة، ثم تختفي مرة أخرى في الفراغ. وهذه هي تقلبات الفراغ.

هذه ليست فكرة خيالية، لقد تم قياسها بالفعل في المختبر. ففي ظروف سليمة، يمكن لتلك الجسيمات سريعة الزوال أن تدير صفيحة معدنية حول نفسها، وهي الظاهرة التي تعرف بتأثير كازيمير Casimir effect. ففي عام 1996، قام علماء الفيزياء بجامعة واشنطن بقياس القوة التي تبذلها تقلبات الفراغ تلك. ولأن القوة صغيرة جدًّا ـ حوالي 1/30.000 من وزن نملة ـ فقد رتبوا لإثبات أن الجسيمات كانت في الواقع تبذل تلك القوة. ومنذ هذا الحين فإن عددًا آخر من التجارب قد أثبت نتائج جامعة واشنطن. تلك الجسيمات سريعة الزوال موجودة. ويمكننا حتّى رؤية التأثيرات التي لديها. ولأن الجسيمات تنبثق إلى الوجود وتخرج منه باستمرار في كلّ منطقة من الفضاء، فإن الطبيعة تقوم دائمًا بعمل قياسات لتلك الجسيمات. ومن المستحيل منعها من فعل ذلك.

شكرًا لتقلبات الفراغ، فالانهيار المفاجئ لتطابق التراكب ـ كالذي يحدث في التحلل النووي ـ يصبح مفهومًا. أنت لا تحتاج لتدخل بشري ليكون لديك قياس للنواة، فالطبيعة ذاتها تقوم بتلك القياسات عن طريق تقلبات الفراغ. ونادرًا جدًّا ما يحدث أن أحد تلك الجسيمات سريعة الزوال يلتقي بالنواة، ويقوم بالقياس، وينقل تلك المعلومات إلى البيئة. ولأن النواة هدف بالغ الصغر فإن هذا يحدث عمومًا بشكل نادر نسبيًّا، لكن حتّى في الفراغ، حتّى بمعزل عن كلّ المؤثرات الخارجية، فإن النواة في تطابق تراكب لحالتي تماسك وتحلّل، يمكن أن تقاس ـ في مرّات عشوائية ـ عن طريق الطبيعة. فينهار تطابق التراكب سريعًا، ويتوجّب على النواة «الاختيار» أما أن تبقى كوحدة واحدة أو أن تتشظّى. للملاحظ الخارجي غير المدرك لقياس الطبيعة، فإن الأمر يبدو كما لو أن النواة تتشظّى فجأة بلا سبب معقول. وبسبب هذا الاختيار العشوائي الذي يحدث أثناء كلّ قياس، فمن المستحيل تحديد أية نواة معينة ستتحلل: إنه حدث عشوائي متأصل. بينما من السهل القول كيف أن طاقمًا من تلك الأنوية سيتحلّل، تمامًا كما يسهل القول كيف سيتصرف صندوق مملوء بالغاز، فمن المستحيل التنبوء بسلوك نواة واحدة كما يستحيل التنبوء بسلوك ذرة واحدة، وهي تميل لأن تستقر عشوائيًّا في أحد جوانب الصندوق.

هذا القياس المستمر هو أحد تبعات قواعد العلم الكمي التي لا يمكن تجنبها. وهو ما يمسك أيضًا بسرّ التناقض الظاهري لقطة شرودنجر. وإذن فهنا، تقع إجابة أحد الأسئلة الرئيسة في نظرية الكم: لماذا تسلك الأشياء المجهرية بشكل مختلف عن تلك التي ترى بالعين المجردة؟ لماذا تتواجد الذرات في تطابق تراكب بينما لا يمكن للقطط؟ الجواب هو المعلومات. إن نقل المعلومات الكمية

إلى البيئة ـ القياس المستمرّ للشيء بواسطة الطبيعة ـ هو ما يجعل القطة تختلف عن الذرّة كما يختلف المرئي عن المجهري. المعلومات هي السبب في أن قوانين العالم الكمي لا تبدو منطبقة على الأشياء الكبيرة مثل كرات السلة والبشر.

وكما في حالة التناقض الظاهري في قطة شرودنجر، فلنبدأ على مستوى أصغر. تخيّل أن معنا شيئًا كميّا، فلنقل جزيء كبير مثل الفلورين المكوّن من سبعين ذرّة كربون. يمكننا إعداده في حالة تطابق تراكب للكيوبته لتسجل (1&0) على الجزيء بتمريره خلال مقياس التداخل، وإجباره على التواجد في مكانين في الوقت نفسه. ما الفترة التي تستطيع تلك الكيوبته فيها أن تبقى غير مضطربه؟ نظريًّا، سيبقى الجزيء في تطابق تراكب طالما بقي غير ملاحظ ـ طالما لا يوجد ملاحظ (بما في ذلك الطبيعة) يجمع المعلومات عن الحالة الكمية للشيء. وطالما بقي الجزيء غير مضطرب، فسيمكنه التواجد بسعادة مثل قطة شرودنجر، لا هنا ولا هناك لكن في المكانين في الوقت نفسه. هذا هو، بمعنى ما، ما فعله مختبر انتون زيلينجر Anton Zeilinger بجامعة فيينا مرّات عديدة.

لكن الحفاظ على بقاء الجزيء غير مضطرب ليس سهلًا. إذا بقي في الهواء الطلق، فإن جزيئات النيتروجين والأكسجين سترتطم به. عندما يصطدم جزيء النيتروجين بالفلورين، فإنه سيقوم بالقياس، إنه يجمع المعلومات عن الفلورين. في الحقيقة، يصبح جزيئا النيتروجين والفلورين بشكل ما متشابكين.

بعد التصادم، يحمل جزيء النيتروجين المعلومات عن جزيء الفلورين. بالنظر إلى الارتداد، على سبيل المثال، ستحصل على معلومات عن أين يوجد الجسيم. لذلك، إذا قمت بقياس مسار النيتروجين، فستحصل أيضًا على معلومات عن جزيء الفلورين. وهذا هو معنى التشابك، قم بجمع المعلومات عن شيء ما وستحصل تلقائيًّا على معلومات عن الآخر. لذا فالفلورين والنيتروجين متشابكان، شكرًا لهذا التدفق من المعلومات من واحد للآخر. وعندما يتصادم جزيء النيتروجين مع جزيء آخر من الهواء، فلنقل الأكسجين، فأن الأكسجين «يقيس» النيتروجين ويصبح متشابكًا معه أيضًا. إذا كان لديك جسيم حساس بما يكفي لاقتفاء الأثر، فسيكون بمقدورك الحصول على معلومات عن موضع الفلورين بقياس مسار الأكسجين والعمل بأثر رجعي. المعلومات عن الفلورين مستقرّة الآن على النيتروجين والأكسجين. وبينما تتصادم الجزيئات مع الجزيئات التي تتصادم مع الجزيئات الأخرى في الهواء، فإن المعلومات تتشتّت خلال كلّ الجزيئات في الهواء، المعلومات عن الفلورين تنتشر بعيدًا وعلى نطاق واسع كلّما أصبح الفلورين متشابكًا مع بيئته.

هذا التدفق للمعلومات من الفلورين إلى البيئة يجعل من المستحيل الحفاظ على حالة تطابق التراكب، فتطابق التراكب سينهار، والفلورين سيختار أن يكون في الحالة (0) أو (1). إن عملية تشابك الشيء التدريجي والمتزايد مع البيئة ـ تدفق المعلومات عن الشيء إلى بيئته المحيطة ـ تعرف باسم التفكيك(********) decoherence.

التفكيك إذن هو المفتاح لفهم كيف تختلف الأشياء المرئية عن الأشياء المجهرية. عندما تتدفّق المعلومات من شيء إلى بيئته، فإنها تفقد تطابق التراكب، وتتصرف أكثر وأكثر كشيء كلاسيكي.

لذ فنظريًّا يمكننا إبقاء القطة في تطابق تراكب ـ ويكون لدينا قطة حقيقية حية وميتة ـ إذا استطعنا منعها من تسريب المعلومات إلى البيئة. علينا منع التفكيك.

كيف يمكننا منع التفكيك، حتّى مع شيء صغير نسبيًّا كالفلورين؟ كيف يمكننا وقف هروب المعلومات عن الجزيء بعيدًا؟ الطريقة الواضحة هي تقليل عدد الجزيئات الأخرى التي ترتطم بالفلورين. لهذا السبب، يجب أن نضعه في الفراغ. هذا يخلصنا من جزيئات الهواء التي تحوم داخل الغرفة، في حالة من الفراغ الجيد سيمكننا التأكد من عدم اصطدام أي جزيء من الهواء بالفلورين خلال فترة التجربة. (وبجعل غرفة الهواء قارسة البرودة، سنجعل جزيئات الهواء تلك تتباطأ، حتّى إننا سنقلّل من احتمالية اصطدام أي منها بالفلورين). يجب أيضًا أن نحجب الفلورين عن الضوء ـ من ارتطام الفوتونات به ـ الذي يتشابك أيضًا مع الفلورين مهما كان مبعثرًا. لكن حتّى في غرفة مظلمة تمامًا، وفي غياب أي جسيمات، يمكن للفلورين أن يعلن عن نفسه بشكل تلقائي.

كلّ الأشياء تشع ضوءًا. وأي جزيء ليس في الصفر المطلق له فرصة إرسال فوتون، مطلقًا كمية صغيرة جدًّا dollop من الطاقة إلى البيئة على شكل ضوء. هذا الفوتون يحمل معلومات عن الشيء الذي يأتي منه، إنه متشابك آليًّا مع الشيء الذي يشعّه حاملًا معه المعلومات إلى خارج البيئة. إنه يساعد في تفكيك الشيء، ولا يوجد شيء يمكنك عمله لوقف تلك العملية. لكن يمكنك تقليلها، فكلّما برد الشيء، قلت الطاقة التي يشعها والفوتونات التي يبعثها. لذا فكلّما برد الشيء، عمومًا، تباطأ حدوث التفكيك. وفي فبراير 2004، نشر مختبر زيلينجر بحثًا أوضح فيه كيف أن زيادة درجة الحرارة تزيد من معدل تفكيك الفلورين. كلّما صار الجزيء أسخن وأسخن، تناقصت واختفت هوامش التداخل ـ العلامات الخارجية للوجود في حالة تطابق التراكب ـ لذا، عمومًا، كلّما برد الشيء، بقي لمدّة أطول في حالة تطابق التراكب.

الآن ماذا عن الأشياء اليومية التي ترى بالعين كالقطة؟ تخيّل للحظة أننا وضعنا القطة في تطابق تراكب ـ وقمنا بتخزين الكيوبتة (1&0) على القطة. فما المدّة التي ستبقاها تلك الكيوبتة على القطة؟

حسنًا، نحن الآن في ورطة. فهناك هواء يحيط بالقطة، لذا علينا وضع القطة في الفراغ لتقليل عدد الجزيئات التي ترتطم بالقطة وتقيسها. حتّى بتجاهل الآثار (غير السارة) التي تتولّد عن وضع القطة في حجرة مفرغة، وهو شيء غير عملي تمامًا للقيام به. على خلاف جزيء الفلورين، الذي يكون هدفًا صغيرًا جدًّا ليصطدم به جزيء الهواء، فإن القطة هدف ضخم. فهناك آلاف الجزيئات هنا وهناك حتّى في فراغ جيد جدًّا جدًّا. مع شيء صغير كالفلورين، لن يهم ذلك، لأن احتمالية ارتطام جزيء هواء به صغيرة لأبعد حدّ، أنت تحتاج لمزيد من جزيئات الهواء في الحجرة ليكون لديك فرصة في معركة التصادم مع مثل هذا الهدف الدقيق. لكن مع قطة ضخمة في صندوق، فإن هناك فرصًا مرجحة جدًّا لحدوث العديد من التصادمات في أية لحظة حتّى في فراغ جيّد: الشيء الكبير يجرى قياسه بشكل أكثر تكرارًا ممّا يحدث مع الشيء الصغير. الشيء نفسه يحدث عند القياس بالفوتونات والجسيمات الأخرى في البيئة، من المرجّح جدًّا أن تضرب قطة كبيرة بأكثر ممّا تضرب الفلورين الصغير. كلّ تلك القياسات تنشر المعلومات عن القطة في البيئة.

كذلك، إذا بردنا القطة قريبًا من الصفر المطلق، فإنها لا تزال تبعث بتات قليلة من الأشعّة، على الأقل مقارنة بشيء مجهري كالفلورين. أية ذرّة لديها فرصه لكي تشعّ فوتون في درجة حرارة منخفضة. وكلّما قلت درجة الحرارة، قلت احتمالية انبعاث هذا الفوتون. ولأن الفلورين لديه 60 أو 70 ذرة فقط، فلو كانت درجة الحرارة منخفضة نسبيًّا، لأمكنك منع كلّ تلك الذرّات من أن تشع. فقط اجعل احتمالية الانبعاث حوالي واحد في الألف للفترة الزمنية التي تريد فيها تخزين كيوبتة ولن تحصل على ذرة واحدة تشعّ بفرصة أكثر من 90%. القطة، من جهة أخرى، لديها تقريبًا مليار مليار مليار ذرّة. بفرصة واحد في الألف أو بفرصة واحد في المليون أو بفرصة واحد في المليار أو بفرصة واحد في مليار مليار للانبعاث الذري، سيكون مضمونًا أن يكون لديك ذرّات على القطة تبعث فوتونات. هناك، أساسًا، فرصة صفر في المائة ألا توجد ولا ذرة واحدة مشعّة في القطة. كلّما كبر الشيء، صعب الحفاظ عليه من لفظ معلوماته عن طريق الإشعاع.

لذا، وكما هو مجمع عليه، كلّما صغر الشيء، قل تعقيده، وكلّما كان أبرد، قلّ تفكيكه. كلّما كبر الشيء، وكان فضفاضًا، وكلّما كان الشيء ساخنًا، تسارعت المعلومات في التسرّب عنه إلى البيئة، بالرغم من بذل أفضل الجهود لعزله. لقد حسب العلماء أنه في فراغ تام في عمق الفضاء وبالقرب الصفر المطلق، فإن شيئًا صغيرًا جدًّا مثل جسيم غبار بعرض ميكرون micron - أصغر عشر مرات من سمك شعرة إنسان - لا بد أن يتفكّك في واحد على مليون من الثانية. قم بتخزين كيوبتة عليه وستقوم الطبيعة بعمل قياسات وتدمر تطابق التراكب في جزء بالغ الصغر من الثانية. إذا كان الأمر كذلك مع حبّة غبار دقيقة، تخيل الأمر مع شيء أكبر وأكثر سخونة وفضفاضًا مثل قطة في صندوق.

هذا هو الخلاف الأساسي بين العالم الكمّي المجهري والعالم التقليدي المرئي. الطبيعة تجد صعوبة في جمع المعلومات عن الأشياء الصغيرة الباردة، لذا فإنها تستطيع الحفاظ على معلوماتها الكمية لزمن طويل نسبيًّا. لكن من السهل على الطبيعة جمع المعلومات عن الأشياء الكبيرة الساخنة، والتي تصف إلى حدّ كبير كلّ شيء نتعامل معه في الحياة اليومية حتّى عندما تكون المعلومات الكمية محفورة على شيء كبير ككرة السلة أو القطة، تلك المعلومات سريعًا ما تنتشر في بيئتها، مدمرة أي تطابق تراكب لديها. الأشياء الكبيرة تصبح متشابكة سريعًا بالبيئة كلّما تدفّقت المعلومات عن تلك الأشياء إلى البيئة المحيطة بالأشياء.

المعلومات والتفكيك يحتويان على الإجابة على التناقض الظاهري لقطة شرودنجر. عندما افترض شرودنجر تجربته الاختبارية، حصل على معظم التفاصيل صحيحة، لكنّه لم يكن مدركًا لتأثيرات التفكيك. نعم، يمكن أن يكون جسيمًا في تطابق تراكب، نعم يمكنك نقل تطابق التراكب هذا، تلك الكيوبتة من الجسيم للقطة، نعم يمكن وضع القطة في تطابق تراكب بأي شكل، على الأقل نظريًّا. لكن لأن القطة كبيرة وساخنة فإن المعلومات عن حالة القطة ستتسرب إلى البيئة حتّى من قبل أن يفتح أحد الصندوق. تتفكّك حالة القطة في جزء ضئيل جدًّا جدًّا جدًّا من الثانية. يختفي تطابق تراكب القطة في مثل هذا الوقت الصغير الذي لا يلحظ إطلاقًا، إنها تختار فعليًّا أن تعيش أو تموت «فورًا». حتّى مع أن القطة تتبع قوانين ميكانيكا الكم، فإنها تتصرّف كشيء كلاسيكي، ولن تستطيع أبدًا الإمساك بالقطة في حالة تطابق تراكب أو صنع شكل تداخل للقطة. إن تدفق المعلومات للبيئة سريع جدًّا. فالطبيعة تقيس القطة من قبل أن يفتح أي شخص الصندوق بوقت

طويل. حتّى في بيئة معزولة تمامًا، فإن لدى الطبيعة القوة للقيام بالقياس، والأجسام الكبيرة الساخنة تقاس بشكل أكثر سهولة من تلك الصغيرة الباردة.

التفكيك هو ما يقتل القطة، والتفكيك هو ما يجعل الأشياء المرئية تتصرّف بشكلّ كلاسيكي بينما الأشياء المجهرية تظهر تصرفًا بشكل كمي. بما في ذلك أدمغتنا.

العقول هي آلات لمعالجة المعلومات وتخضع لقوانين المعلومات. نظرية المعلومات الكلاسيكية تفترض ضمنًا أننا وإلى حدّ بعيد مجرّد آلات معقّدة لمعالجة المعلومات. ربّما هذا يعني أننا بالأساس لا نختلف عن آلة تيورينج أو الكمبيوتر. إنه استخلاص مربك جدًّا، لكن هناك مخرج واحد واضح. إذا كانت المعلومات في أدمغتنا كمية أكثر من كونها كلاسيكية، عندها فإن عقولنا ستضطلع بهذا البعد الجديد.

لبعض المحقّقين، فإن ظاهرتي تطابق التراكب والانهيار تبدوان بشكل لافت للنظر مشابهتين لما يحدث في العقل. في المجال الكمي، فإن قطة شرودنجر ليست حية ولا ميتة إلى أن تقوم بعض العمليات ـ القياس أو التفكيك ـ بتسريب المعلومات إلى البيئة. وتعمل على انهيار تطابق التراكب، مجبرة القطّة على أن «تختار» بين الحياة أو الموت. وبالمثل فإن العقل البشري يمكنه الإمساك بشكل متعدّد، بأفكار نصف مكتملة، تجول جميعها بالخاطر تحت عتبة الوعي في الوقت نفسه. عندئذ وبشكل ما، يقدح snaps شيء ما، وتتماسك الفكرة وتنتهي إلى مقدّمة الوعي. تبدأ الأفكار في تطابق التراكب في ما قبل الوعي ثم تنتهي في العقل الواعي عندما ينتهي تطابق التراكب وتنهار دالة الموجة.

الذين يهوون هذا الوعي الكمي يتوقّعون أن التشابه ربّما يكون أكثر من مصادفة. ففي عام 1989 التحق عالم الرياضيات وأحد باحثين الكم روجر بنروز Roger Penrose بهذه المجموعة وهو يفكّر في كتاب شعبي يسمى «العقل الجديد للإمبراطور» The emperor’s new mind، إذ ربما يعمل المخّ ككمبيوتر كمي أكثر من كونه كمبيوتر كلاسيكي. لكن الخلايا العصبية، كما رأينا سابقًا، تميل للتصرف كالأدوات الكلاسيكية التي تخزن البتات وتعالجها. فإذا كان العقل يخزن ويعالج الكيوبتات بشكل ما، فيجب أن تكون هناك آلية أخرى بجانب الطريقة الكيميائية القياسية لنقل البتات التي يألفها البيولوجيون.

كان طبيب التخدير ستيورات هامروف Stuart Hameroff من جامعة أريزونا مهتمًا بالوعي لأسباب تختلف عن اهتمام الفلاسفة به، فقد تدرب على إزالته واستعادته. وحتّى بعد كلّ هذا التقدّم الذي أحرزه علم التخدير فإن الطب ما زال ساذجًا لدرجة أنه لا يفهم ظاهرة الوعي، حتّى إنه لا يوجد تعريف جيّد له. لذا فإنه مجال خصب للدراسة، وقد وجد هامروف نفسه منجذبًا لذلك. وأثناء دراسته لفسيولوجيا الأعصاب في محاولة لفهم الوعي، التقى هامروف مصادفة بمركز محتمل للطبيعة الكمية في العقل: الأنيبيبات المجهرية microtubules، وهي أنابيب دقيقة مصنوعة من بروتين يسمى التيوبيولين tubulin. تلك الأنيبيبات المجهرية هيكلية، فهي تشكلّ هياكل خلايانا، بما في ذلك الخلايا العصبية. لكن ما يجعلها مشوقة ليس دورها الكلاسيكي لكن دورها الكمي المحتمل.

بروتين التيوبيولين يمكنه أن يأخذ على الأقل شكلين مختلفين ـ متمدد ومتقلص ـ ولأنه صغير نسبيًّا، فإنه يمكن أن يتصرف نظريًّا كشيء كمي. إنه قادر على اتخاذ كلتا الحالتين، المتمددة

والمتقلصة في الوقت نفسه في حالة تطابق تراكب. ربما يستطيع التيوبيولين تخزين كيوبتة. ومن الممكن أيضًا أن بروتين التيوبيولين الواحد ربما يؤثّر على الحالات الكمية المجاورة، والتي بدورها تؤثّر على المجاورة لها، وهكذا دواليك، في كلّ مكان من المخ. في تسعينيات القرن العشرين، أوضح بنروز وهامروف كيف أن نظام الرسائل الكمي المبني على التيوبيولين يمكنه العمل ككمبيوتر كمّي ضخم. وإذا كان لدينا كمبيوتر كمي يعمل بالتوازي مع آخر تقليدي، وكان الكمبيوتر التقليدي هو المخ، فإن الكمبيوتر الكمي سيكون حيث يكمن وعينا. ربّما يشرح هذا لماذا نحن أكثر من مجرّد آلات حاسبة، وأن علينا أن نكون كميين وليس كلاسيكيين.

لقد اجتذبت تلك الفكرة الخاصة بالمخ الكمي عددًا قليلًا من علماء الفيزياء، فبعض الباحثين في الوعي وعدد كبير من الصوفيين ومعظم علماء بيولوجيا الأعصاب وعلماء الإدراك، مع ذلك، لا يعولون كثيرًا على تلك الفكرة، ولا علماء الفيزياء الكمية أيضًا. لقد كان الموضوع تأمليًّا جدًّا، إلى جانب أن المخ مكان يصعب جدًّا إجراء الحوسبة الكمية عليه.

المعلومات الكمية بطبيعتها هشّة جدًّا. الطبيعة تقوم على الدوام بعمل القياسات وتقوم بشتيت الكيوبتات المخزنة وجعلها متشابكة بالبيئة. تميل الكيوبتات للبقاء بشكل أفضل عندما يجرى تخزينها على أشياء صغيرة، معزولة في الفضاء ومحفوظة في برد شديد. بروتين التيوبيولين كبير إلى حدّ ما إذا ما قورن بالأشياء الكمية مثل الذرّات والجزيئات الصغيرة وحتّى الجزيئات الأكبر كالفلورينات fullerenes. والأسوأ من ذلك، أن المخ دافئ و(في العادة) مملوء بأشياء بأكثر ممّا يكون عليه الفراغ. كلّ تلك الأشياء تتآمر لتشتيت المعلومات الكمية التي ربّما تكون مخزنة على جزيء التيوبيولين. في عام 2000 قام ماكس تيجمارك Max Tegmark، عالم الفيزياء بجامعة بنسلفانيا، بتوصيل الأعداد واكتشف كيف أن المخ بيئة سيئة للحوسبة الكمية.

بضمّ البيانات عن درجة حرارة المخ، وأحجام الأشياء الكمية المفترضة، والخلل الناتج عن أشياء كالأيونات القريبة، قام تيجمارك بحساب طول الأنيبيبات المجهرية والأشياء الكمية الأخرى المتوقّعة داخل المخ التي ربما بقيت في تطابق تراكب قبل تفككها. وكان جوابه: إن تطابق التراكب يختفي في 10-13 إلى 10-20 من الثانية أو قريبًا من ذلك. وقد استخلص تيجمارك أنه مهما كانت طبيعة المخ الكمية، فإنها تتفكّك سريعًا جدًّا بأسرع من قدرة الخلايا العصبية. وبينما ما زال العديد من هواة الوعي الكمّي يحاجّون بأن للعقل طبيعة كمّية، فإنه من الصعب التفكير على أنه كذلك: إن التفكيك ظاهرة قوية جدًّا. ويظهر العقل على أنه كلاسيكيّ في نهاية الأمر.

حتّى لو كان المخ البشري آلة لمعالجة وتخزين المعلومات «وحسب». فإنه مركب ومعقد بحيث إن العلماء ليس لديهم فكرة حقيقية عن كيفية ما يقوم به إلا بطريقة عامّة جدًّا. وقد مرّ الفلاسفة والعلماء بأوقات صعبة حتّى لمجرد تعريف ما الوعي؟ والأبسط من ذلك حتّى، من أين يأتي؟. فهل الوعي هو شيء ينبثق ببساطة من مجموعة معقّدة جدًّا من بتات تنشط فجأة؟ ليس لدى العلماء سبب إجباريّ لأن يقولوا إنه ليس كذلك ـ سوى شدّة الحساسية لما يعنيه ذلك بالنسبة للبشر. حتّى لو كانت أدمغتنا ليست أكثر من كونها آلات معقّدة جدًّا لمعالجة المعلومات، فإنها تعمل على مستوى مختلف ومقياس زمني مختلف عن معالجات المعلومات في خلايانا. ومع ذلك، فإن أدمغتنا مثل جيناتنا تتبع قوانين المعلومات والتفكيك. ونظرية المعلومات لا ترى أي خلاف أساسي بين المخ والكمبيوتر، تمامًا مثلما لا ترى أي خلاف أساسي بين العالم المرئي والمجهري. ويبين التفكيك أن أدمغتنا لا

يمكن أن تكون كمبيوترات كمية. بالضبط كما يشرح لماذا لا تتصرف قطة شرودنجر كما تتصرّف الذرّة، ولماذا تتصرّف الجسيمات ما تحت الذرية بشكل مختلف تمامًا عن الجسيمات المرئية.

التفكيك ليس إجابة كاملة لما يجعل ميكانيكا الكم عجيبة جدًّا. لكنّه خطوة كبيرة باتجاه فهم طبيعة العالم الكمي وتوضيح أنك لست بحاجة للفصل بين القوانين التي تصف العالم الكمي والعالم الكلاسيكي. فالقوانين الكمية تحتفظ بدقّتها على كلّ المستويات، إن جمع الطبيعة المستمر للمعلومات وتشتيتها هو ما يجعل الأشياء المجهرية والأشياء المرئية تبدو على هذا الشكل من اختلاف في التصرف.

الطبيعة تعالج المعلومات خلال تلك العملية. إنها تقيسها وتنقلها وتعيد ترتيبها. ولكن بقدر ما يستطيع العلماء قوله، فإن الطبيعة لا تفني المعلومات أبدًا ولا تخلقها. التفكيك ليس عملية للتخلص من المعلومات، وعندما ينهار تطابق التراكب وتطمس الكيوبتة من على شيء مثل الذرّة، فإنها تنتقل إلى البيئة ولا تفنى. في الواقع، فإن عملية التفكيك تتبع قانونين من المعلومات الكمية يعرفان بقاعدتي لا استنساخ ولا محو. هاتان القاعدتان، اللتان تستنتجان من رياضيات نظرية الكم، تنصّان على أن الكيوبتات يمكنها الانتقال من مكان لآخر لكن لا يمكن استنساخها بدقة تامة، ولا يمكن أن تمحى كلّيا. لذلك، فإن التفكيك ليس خلقًا للمعلومات ولا إفناءً لها. والمعلومات تقوم فقط بأخذ المعلومات من شيء وتوزعها إلى البيئة الخارجية. ويبدو أن المعلومات تبقى.

إن نثر المعلومات هذا ـ التفكيك ـ يناظر شيئًا يحدث ونراه بالفعل. فإذا وضعنا ذرّات غاز في ركن الوعاء، فإنها ستتوزع سريعًا لتملأ كلّ الوعاء، انتروبيا النظام ستزداد سريعًا. (أيضًا إذا قمنا بتبريد الوعاء، فإن حركة الذرات ستتباطأ وسيكون انتشارها أقلّ سرعة) ولو أن هذه ظاهرة إحصائية، يبدو كما لو أن الطبيعة تتآمر لكي توزع الذرّات هنا وهناك. وبشكل مماثل، إذا وضعنا معلومات على شيء، فإن حركة الجسيمات العشوائية وتقلبات الفراغ ستتآمر لتوزيع تلك المعلومات هنا وهناك ولكي تنثرها في البيئة. لذا فإن المعلومات ما زالت موجودة، ويصبح استرجاعها أصعب وأصعب كلّما استمرت عملية النثر. ومثل الانتروبيا، فإن التفكيك ظاهرة باتجاه واحد: مع أنه ممكن، فمن غير المحتمل تمامًا أن تجمع الطبيعة المعلومات من البيئة وتضعها على شيء مرئي، جاعلة إيّاها في تطابق تراكب. ومثل الانتروبيا، فإن التفكيك يجعلك تعرف بأية طريقة يجرى الوقت، فالتفكيك هو سهم الزمن. والاثنان مترابطان. إن تفكيك كيوبتة سيزيد من انتروبيا النظام بما مقداره، وعليك أن تتذكر، k log 2.

ويعتبر التفكيك بشتّى الطرق أساسيًّا حتّى أكثر من الانتروبيا. فبينما تزيد انتروبيا الغاز في إناء بمقياس زمني يقدّر بأجزاء على ألف من الثانية. فإن التفكيك يعمل بمقياس زمني أقصر من ذلك مليارات المليارات من المرات. الانتروبيا تميل فقط للزيادة عندما يكون النظام خارج التوازن. بينما الطبيعة تقيس المعلومات دوما وتنثرها، لذا فالتفكيك يحدث حتّى عندما يكون النظام في توازن. وبينما يؤدّي مفهوم الانتروبيا إلى القانون الثاني للديناميكا الحرارية، فإن فكرة التفكيك مرتبطة بما يمكن اعتباره قانونًا أقوى، قانونًا جديدًا:

«المعلومات لا تفنى ولا تخلق من العدم»

هذا هو القانون الذي يغلف قوانين الديناميكا الحرارية ويفسر عجائبية ميكانيكا الكم والنسبية. إنه يصف كيفية تفاعل الأشياء الفيزيائية بعضها ببعض، والطريقة التي يكتسب بها العلماء فهمهم عن

العالم الطبيعي. إنه القانون الجديد.

لكن القانون الجديد، قانون المعلومات، لم يستقر بشكل ثابت. مع أن العديد من العلماء يعتقدون أنه يتضمّن عددًا من التحديات والاستثناءات المحتملة والتي يجري حلّها إلى الآن. أكثر وأخطر تلك التحديات يجيء من نظرية النسبية، لأن قوانين آينشتين وقوانين المعلومات تبدوان على خلاف.

ومع ذلك، عندما تواجه النظرية النسبية قانون المعلومات، يبدو أن قانون المعلومات سيفوز. ربما كانت المعلومات قادرة على البقاء بأكثر مما يستطيع أي شيء آخر في الكون. حتّى لو تعثّرت مباشرة داخل حوصلة أكثر قوّة مدمّرة في الكون، الثقب الأسود.

الفصل الثامن

الصراع

يبقى موضوع الرهبة من الله غير محسومٍ إلى حدٍّ بعيد، فهو المعيار الثابت والشاهد الصامت على كلّ ذكرياتنا وقناعتنا المؤكّدة، على الماضي والمستقبل. إنه يقبع داخل حياتنا القلقة بشكل مثيرٍ وغامض، إنه قماشة الحقيقة الملساء، مشرقًا كالشمس

ـ جورج سانتيانا

تقع المعلومات في قلب غموض نظرية الكم، كما أنها مسئولة تمامًا عن التناقضات الظاهرية للنسبية. لكن العلماء ليس لديهم نظرية كاملة عن المعلومات الكمية حتّى الآن، لذا فهم لا يعرفون إجابات لكلّ المشاكل الفلسفية الصعبة التي تثيرها تلك النظريات. ومع أن التفكيك يبدو أنه يشرح الاختلاف الظاهري بين المرئي والمجهري كما يشرح التناقض الظاهري لقطة شرودنجر. فإن الكثير من الأسئلة ما زال بلا إجابات، وأكثرها جدية مع النسبية.

ما زال علماء الفيزياء لا يفهمون آلية التشابك. لقد أجبروا على قبول أن الجسيمات «تتآمر» بشكل ما عبر المسافات الشاسعة. إن قوانين نظرية الكم والمعلومات الكمية تصف التشابك بشكل رائع ومع ذلك فهي لا تشرح كيف يعمل. إنها لا توضح كيف أن الجسيمات المتشابكة ترتب للتآمر. ولاكتشاف ذلك، فقد اندفع العلماء لمناطق أغرب وأغرب: فهم يستكشفون حقلًا معرفيًّا بعيدًا جدًّا بحيث إن أفضل علماء الكم التجريبيين يتهيّأون ضدّ هذا الحقل الخارق للطبيعة، إنه التخاطر telepathy. ولأن «الفعل الشبحي» لآينشتين أكثر شبحية ويبدو غير واقعي أكثر من قصة الشبح، مما جعل العلماء يسائلون أفكارهم العامة عن تدفق الزمن.

والأكثر شبحية هو غموض الثقب الأسود black hole. فتلك النجوم المنهارة تلتهم أي شيء يقع في قبضتها ـ بما في ذلك الضوء ـ وكلّ شيء يعبر حدّها الحرج غير المرئي سيجري تدميره بلا رجعة، فهل الأمر كذلك؟

إذا كانت المعلومات يتمّ حفظها بحقّ، إذا كانت لا تخلق ولا تفنى، فحتّى الثقب الأسود لن يمكنه التخلص من المعلومات التي يلتهمها. ربما كانت الثقوب السوداء أدوات هائلة لتخزين المعلومات، تحتفظ بالمعلومات الكمية متماسكة وتلفظها بعد عدّة مليارات من السنين. في الواقع، حتّى عام 2004، جرت المقامرة العلمية الأكثر شهرة في العالم، كان الرهان بين ستيفن هوكينج Stephen Hawking وكيب ثورن Kip Thorne من جهة، وجون بريسكيل John Preskill من جهة أخرى، حول ما إذا كان يجرى تدمير أو حفظ المعلومات التي تسقط في ثقب أسود. وبينما قد يبدو هذا رهانًا تافهًا، إلا أنه يذهب مباشرة إلى صميم أي قوانين تتبعها الطبيعة حقًّا. فإذا كانت المعلومات تحفظ، إذن فهي تتغلغل حيث لا يوجد تليسكوب، ولا مسبار، ولا يستطيع ملاحظ أن يذهب. المعلومات ستعطينا طريقة للتحديق خلف الغطاء الذي يحمي الثقب الأسود من العيون المتطفلة. المعلومات ستكشف أسرار أكثر الأشياء غموضًا في الكون، المناطق التي تتحطّم فيها قوانين الفيزياء وتصبح النظرية الكمية والنسبية في صراع مباشر.

افهم المعلومات، تفهم الثقوب السوداء. افهم الثقوب السوداء، تفهم القوانين المطلقة للكون. إنه رهان بمقامرة غاية في المخاطرة، وعندما سيحسم هذا الرهان، فإنه سيتصدّر عناوين الأخبار عبر العالم.

الصراع بين النسبية وميكانيكا الكم مازال يهزّ الفيزياء من جذورها، ويحاول العلماء عبر العالم حساب تبعات ذلك الصراع. فعلى سبيل المثال، تهدد فكرة التشابك بتقويض حدّ سرعة الضوء لنقل المعلومات الذي يقع في قلب النسبية: فإذا كانت الجسيمات تتآمر على بعد مسافات كبيرة لتكون في حالات متساوية ومتضادة بعد القياس، عندئذٍ هل تستطيع أن تستخدم تلك الجسيمات في إرسال رسالة أسرع من سرعة الضوء؟ العلماء النظريون يقولون لا، كما سيتضح لاحقًا. لكن هذا لا يمنع بعضهم من أن يأمل في أن يتضمّن التشابك سر شكل جديد من الاتصالات. ومن ضمنهم مارسيل أودير Marcel Odier، رجل الخير السويسري الذي كون ثروته من العمل في البنوك. أنشأ أودير وزوجته مونيك Monique، مؤسَّسة لاكتشاف أحد حقول المعرفة الذي دعوه «الفيزياء السيكولوجية»، حقل المعرفة النصف-علمى النصف - خفي حيث تتلاقى الفيزياء والباراسيكولوجي parapsychology.

كان أودير مقتنعا أن البشر - والحيوانات أيضًا - يمكنهم التخاطر. وقد موّلت مؤسّسته عددًا من الدراسات لاستكشاف تلك الظاهرة. وبينما يقول إن لديه أدلة كافية للاعتقاد في التخاطر، فإنه لا يعرف الآلية التي تسمح للعقول البشرية بالاتصال ببعضها. مع ذلك، بدا أن ميكانيكا الكم تمنح طريقًا، إنه التشابك. كان أودير يأمل في أن يساعد التشابك في شرح آلية التخاطر، فأنفق حوالي 60000 دولار لتمويل تجربة في جامعة جينيف: محاولة نيكولاس جيسين Nicolas Gisin لحساب «سرعة» التشابك الكمي.

كان جيسين يعتقد - مثل معظم العلماء الجادين - أن التخاطر هراء. ومع ذلك، فإن ظاهرة التشابك غريبة جدًّا لدرجة أنها تجتذب انتباه المعجبين بالخوارق، ومن ضمنهم أودير. لم يجد جيسين مشكلة في قبول الأموال، التي أتاحت له ولزملائه القيام بتجربة من الطراز الأول. مع أن مجموعة جيسين لم تجد أية مفاتيح لحلّ لغز آلية نقل المعلومات من شخص لشخص عن طريق الجسيمات المتشابكة. في الواقع، وكما سيتضح، توضح قوانين معلومات الكم أنه من المستحيل إرسال رسائل بالتشابك وحده. وقد وجد جيسين شيئًا على هذا القدر من الإزعاج مثل التخاطر. فقد برهنت تجاربه على أن هناك صراعًا أساسيًّا بين نظريتي النسبية وميكانيكا الكم حول طبيعة الزمن. ففي نظرية الكم، وبخلاف النسبية والحياة اليومية، لا يوجد شيء مثل «قبل» و«بعد».

عرف الباحثون منذ وقت طويل أن النسبية وميكانيكا الكمّ على خلاف، النسبية نظرية رشيقة. فهي تتعامل مع طبيعة الفضاء والزمن والجاذبية وتعالج بنية الفضاء والزمن كصفحة ناعمة متصلة. نظرية الكم نظرية خشنة ومحببة grainy. إنها تتعامل مع باقات ووثبات كمية، مقادير من الطاقة ونظرة منفصلة ومتقطعة للكون. لنظريتي النسبية والكم طرقٌ مختلفة جدًّا لتصوير الكون، طرقٌ رياضية مختلفة جدًّا ولا تتوافق غالبًا. في معظم الأوقات قد لا يكونان في صراع مباشر، إذ تميل النسبية إلى التعامل مع المجرات والنجوم والاشياء التي تتحرّك بالقرب من سرعة الضوء، مجال المعرفة الخاصّ بالضخم جدًّا والسريع جدًّا. بينما أصبحت ميكانيكا الكمّ مهتمة بالذرات والإلكترونات والنيوترونات والجسيمات الدقيقة، مجال المعرفة الخاصّ غالبًا بالدقيق جدًّا والبارد جدًّا والبطيء جدًّا. إنهما نظامان مختلفان تمامًا، ولا يتوافقان في معظم الوقت.

التشابك هو أحد المساحات التي تتنافس فيها النظريتان. لقد وضع آينشتين حدًّا لسرعة نقل المعلومات، إلا أن نظرية الكم تقول إن الجسيمات المتشابكة تشعر على الفور متى تقاس نظيراتها. نظرية الكم لا أدرية agnostic بخصوص الكيفية التي تتآمر بها الجسيمات مع بعضها، بينما نظرية آينشتين حريصة جدًّا جدًّا بخصوص تحديد كيفية إرسال الرسائل من مكان إلى مكان. هذا هو مفتاح مصدر الخلاف، وتلك بدقّة هي المنطقة التي يحاول جيسين فهمها.

لقد شرحت في الفصل السادس، كيف أنه في عام 2000 ابتكر جيسين مجموعات من الفوتونات المتشابكة التي انطلقت بتسارع في اتجاهين متضادين في كابلات ألياف بصرية حول بحيرة جينيف. وعندما قام بقياس واحد، شعر الآخر بالقياس على الفور. إذا كان أحد الجسيمين يرسل القياس للآخر بشكل ما، فسيكون على تلك الرسالة السفر بأكثر من عشرة مليون مرة بسرعة الضوء للانتقال من واحد للآخر في الوقت لإحداث تآمر ناجح. وكما حدث، فإن قياس «سرعة التشابك» تلك كان عرضيًّا. في تجربة عام 2000، التي موّلها مارسيل أودير وفي تجربة 2002 المكملة لها والتي موّلها آخرون، حاول جيسين إجبار الطبيعة لاكتشاف ماهية تآمر التشابك. لقد حاول تخريب ruin تشابك الجسيمات على طريقة آينشتين، وعندما فشل، أوضح أن مفاهيم «قبل» و«بعد» لا تنطبق على الأشياء الكمية بالطريقة البسيطة التي تتم بها مع الأشياء المتوافقة مع النسبية.

كانت حيلة جيسين هي جعل الزوج المتشابك يعمل عكس التناقض الظاهري للرمح والحظيرة. كما تم وصفه في الفصل الخامس، إذ إن التناقض الظاهري يستخدم الحركة النسبية لاثنين مشاركين لجعلهما غير متفقين على ترتيب الأحداث. الملاحظ (أ) «المتفرج الساكن» يعتقد أن الباب الأمامي للحظيرة يغلق قبل الباب الخلفي، الملاحظ (ب) «العدّاء» يعتقد أن الباب الخلفي يفتح قبل أن يغلق الباب الأمامي. وطالما بقي البابان الأمامي والخلفي غير متصلين سببيًّا، فكلا الملاحظين يمكن أن يكونا على صواب في الوقت نفسه حتّى لو لم يتوافقا على ترتيب الأحداث.

قام جيسين وزملاؤه في مختبرهم بجينيف، بإرسال مجموعات من الفوتونات المتشابكة وفي تطابق تراكب باتجاه قريتي برينيكس وبيليفو في تجربة زوج EPR كلاسيكي. لكن كان هناك تحريف، حيث كان تجهيز المختبر متحركًا. في التجربة الأولى، كان المكشاف detector الذي يستخدمونه يدور بسرعة كبيرة، ممّا جعل التجربة تعمل كالعدّاء في تجربة التناقض الظاهرى للرمح والحظيرة.

فشكرا لحركته، فمن وجهة نظر المكشاف المتحرّك، تم قياس الجسيم (أ) قبل أن يرتطم الجسيم (ب) بالمكشاف الموجود في القرية الأخرى. فبمجرد أن يرتطم الجسيم (أ) بالمكشاف المتحرك، فإن تطابق التراكب ينهار بسبب القياس. وإذا كان هناك شكل ما «للاتصال» بين الجسيمين، فإن الجسيم (ب) عليه أن يعلم عن انهيار الجسيم (أ) وينهار هو بالتالي. تطابق تراكب الجسيم (أ) ينهار بسبب قياسه الذات بينما انهيار تطابق تراكب الجسيم (ب) بسبب قياس شريكه.

لكن من وجهة نظر المكشاف الساكن، فإن الوضع سيكون معكوسًا. فمن إطار مرجعية المكشاف الساكن، الجسيم (ب) يرتطم بالمكشاف ويتم قياسه قبل أن يصل الجسيم (أ) للمكشاف المتحرك. من وجهة نظر المكشاف الساكن، ينهار تطابق تراكب الجسيم (ب) بسبب قياسه الذاتى بينما ينهار تطابق تراكب الجسيم (أ) بسبب انهيار شريكه.

إذا كان قياس جسيم واحد يؤثّر على الآخر بشكل ما ـ إذا كان هناك نوع من الاتصال بين الجسيمين بما يسمح لهما بأن يتآمرا ـ فقد بينت تجربة جيسين أنه من المستحيل قول أيهما المؤثّر وأيهما المتأثر، أيهما مرسل الرسالة وأيهما المستقبل. إنها وضعية لحالة سخيفة، إذا كان هناك أي شكل من الاتصال بين جسيم وآخر عندها، فإن الاختلاف في الرأي حول أي جسيم قد تم قياسه أولًا سيعني الاختلاف حول أي جسيم قد بدأ التآمر وأيهما قد تبعه وحسب.

كانت تجربة عام 2002 تدقيقًا للتجربة الأولى. فقد استخدمت مقسّمات متحركة للأشعّة بدلًا من المكشاف المتحرّك. وكما في التجربة الأولى، فإن هذا الإعداد أنتج النتيجة نفسها: المكشافات تختلف حول أي جسيم يرتطم أولًا.

إذا كان هناك نوع من الرسائل يذهب من جسيم إلى جسيم، فلن يكون هناك مرسل محدد تمامًا ولا مستقبل محدد تمامًا. ويبدو أن الجسيمات تتجاهل مفاهيم قبل وبعد. إنها لا تكترث بأيّهما قد جرى قياسه أولًا أو أخيرًا، أيهما المرسل وأيهما المستقبل. لا يهم كيف أعددت التجربة، يبقى التشابك غير قابل للمنع، يتآمر الجسيمان لكي ينتهيا إلى حالتين كميتين متعارضتين بالرغم من أن أيًّا منهما لا «يختار» حالته، إلى أن يجبره فعل القياس على ذلك. التخاطر ليس له معنى، لكن العالم الكمي أغرب حتّى من خيالات الباراسيكولوجي.

كانت تجربة جيسين نموذجًا مثيرًا لصعوبة وصف التشابك ضمن إطار ما لتبادل رسالة. من الطبيعي التفكير أن الجسيمين يجب أن يتصل بعضهم ببعض بشكلٍ ما، وبحسب الظاهر، يبدو أن هناك قليلًا من البدائل. لقد أثبت العلماء أن تطابق تراكب الجسيمات لا ينهار إلى أن يتم فعل القياس أو التفكيك، يمكن أن يبقى الجسيمان في مزيج ملتبس من الحالتين طالما بقيا بدون إزعاج. عندما يجري قياس جسيم، مع ذلك، ينهار كلٌّ من تطابق التراكب. والانهيارات دائمًا مترابطة مع بعضها. إذا قرّر جسيم أن يغزل لأعلى، فسيختار الآخر أن يغزل لأسفل، إذا استقطب واحد أفقيّا horizontally-polarized فسيستقطب الآخر رأسيّا vertically-polarized، ويحدث انهيار دالات الموجة في الوقت نفسه وبطريقة مترابطة، مع أن هذا الانهيار يعد حدثًا عشوائيًّا بشكل متأصّل ولا يمكن تقريره مقدّمًا. الطريقة الوحيدة الواضحة بعيدًا عما يبدو تناقضًا هي افتراض أن الجسيمين المتشابكين يتصلان بعضهما ببعض بشكل ما. لكن جيسين أوضح أن هذا الاتصال، وإذا ما وجد شيء كهذا، هو في الواقع نوع غريب جدًّا من الرسائل. فهي تتحرّك أسرع من الضوء، ولا يهم أيهما المرسل وأيهما المستقبل، فالرسالة لا بدّ أن تصل مع ذلك(********).

في الواقع، من الأفضل ألا نفكّر في التشابك كتبادل رسالة، لأن الرسالة تدل ضمنًا على أن المعلومات قد أرسلت من أحد الجسيمات إلى الآخر. ولقد استقرّ منذ وقت طويل أن أحد طرفي زوج الجسيمات المتشابكة لا يمكنه نقل المعلومات إلى الآخر من خلال تأثيره الشبحي. وقد أثبت ذلك رياضيّا عالم الفيزياء فيليب ايبرهارد Philippe Eberhard في سبعينيات القرن الماضي. إنه من المستحيل استخدام زوج EPR لنقل المعلومات بأسرع من الضوء، وتجربة جيسين تبين بوضوح جدًّا لماذا يكون الأمر كذلك. حتّى لو كانت الحالات الكمية للجسيم (أ) والجسيم (ب) مترابطة ــ الحالة الكمية لأحدهما تعتمد على الحالة الكمية للآخر ــ فلن توجد علاقة سببية بين الاثنين. في الواقع فإن قياس الجسيم (أ) لا يرسل إشارة لتوءمه «لينهار الآن»، (أ) لا يتسبّب في انهيار (ب) بأكثر ممّا يسبّب (ب) انهيار (أ). إن ما يحدث فقط هو انهيارهما المتزامن ولا يهتمان أبدًا بمن جرى قياسه أولا ولا يعنيهما مفهوم آينشتين عن السببية causality. لا يوجد تفسير جيد

لماذا الأمر هكذا، إنه هكذا وحسب. إنه نتيجة منطقية لرياضيات نظرية الكم، لكن لا يوجد خلف هذا سببٌ فيزيائي بديهي جدًّا(********).

إنّها حالة غريبة جدًّا. لكنّها ما ينبغي على الفيزيائيين قبوله. فلا أحد يقدر على استخدام الفعل الشبحي لزوج EPR، ولو حتّى نظريًّا لإرسال بتة (0) أو (1)، أو كيوبتة مثل (1&0) من مكان إلى مكان بأسرع من الضوء، هذا بالرغم من حقيقة أن علماء الفيزياء يمكنهم نقل شيء فضائيًّا عبر المختبر باستخدام التشابك.

إن مصطلح النقل الفضائي teleportation مضلل، لكن هذا هو الذي اختاره عالم الفيزياء شارلز بينيت Charles Bennett من IBM مبتكر هذه العملية. كلمة نقل فضائي تستحضر رؤى رحلة بين النجوم لتفكيك السيد سبوك Mr. Spock في ومضة ضوء ثم إعادة تركيبه على سطح الكوكب. النقل الفضائي الكمي مختلف جدًّا عن ذلك، إنه ينقل المعلومات فضائيًّا وليس المادّة(********).

في عام 1997، قام فريقان من علماء الفيزياء، بقيادة فرانسيسكو دي مارتيني Francesco De Martini بجامعة روما وانتون زيلينجر Anton Zeilinger بجامعة فيينا، باستخدام زوج EPR لنقل كيوبتة من ذرة إلى أخرى. تفاصيل التجربتين مختلفة قليلًا، لكن الخلاصة واحدة. لقد قاما بشكل متزامن بقياس أحد طرفي زوج EPR مع الجسيم الذي يخزن الكيوبتة، جاعلين الجسيمين متشابكين. وفي الطرف الآخر من المختبر، قاما بقياس الطرف الآخر من زوج EPR مع الجسيم المستهدف الفارغ الذي سيستقبل الكيوبتة. لقد أطلق هذا سلسلة من التشابك: الذرّة التي تخزن الكيوبتة متشابكة مع جسيم EPR المتشابك بدروه مع جسيم EPR آخر والذي بدروه متشابك مع الذرّة المستهدفة. وبإجراء بعض «المعالجات القليلة» فيما بعد ستنتقل الكيوبتة من الذرّة المصدر إلى الذرّة المستهدفة. وبسبب قاعدة عدم الاستنساخ no-cloning rule، يتم تدمير النسخة الأصلية، لكنّ الحالة الكمية للذرة تكون قد نقلت عبر المختبر عن بعد على خلفية الفعل الشبحي.

إذا كنت تستخدم زوج EPR لنقل بتة كمية من المعلومات، أفلن يكون ذلك انتهاكا لحظر النقل الفوري للمعلومات؟ لا، لأن عملية النقل الفضائي لها معوق واحد. إنها تحتاج معلومات كلاسيكية لكي تنقل من المرسل إلى المستقبل بالإضافة إلى أن البتتين الكلاسيكيتين اللتين يمكن نقلهما في أحسن الأحوال بسرعة الضوء. «المعالجات القليلة» لا يمكن تنفيذها بدون هاتين البتتين من المعلومات، بدون البتتين الكلاسيكيتين، لا توجد طريقة لمعرفة كيف يتم إعادة بناء الكيوبتة على الجسيم المستهدف. مع أن الفعل الشبحي عن بعد هو آلية نقل فضائي كمي لنقل الحالة الكمية من ذرة لأخرى، فإن المعلومات الفعلية على الذرّة يمكنها فقط السفر من مكان لمكان بسرعة الضوء. لا توجد طريقة لانتهاك حظر إرسال المعلومات بأسرع من الضوء.

يبقى حظر آينشتين لنقل المعلومات بأسرع من سرعة الضوء ساريًا، بالرغم من غرابة الفعل الشبحي في التشابك. فالتشابك لا يعطل القوانين التي تقرّر الكيفية التي تصرف بها المعلومات. مع ذلك، ما زال التشابك يستخلص كلفة كبيرة. الحالات الكمية تنهار على الفور، متجاهلة تأكيد آينشتين شديد الحرص على مفاهيم «قبل» و«بعد» و«السببية» ويبقى لغز تآمر التشابك غامضا كما كان من قبل.

العلماء حتّى الآن لا يفهمون حقيقة التشابك، لكن قوانين معلومات الكم يبدو أنها بمأمن من التهديد. مع ذلك، هناك لغز غامض آخر يهدّد بإبطال مفهوم بقاء المعلومات ـ إنه الشيء الأكثر غموضًا في الكون. الثقوب السوداء Black holes.

الثقب الأسود هو ميراث كابوسي لنظرية النسبية لآينشتين. إنه جرح مفتوح في بنية الزمكان spacetime، ثقب لا يمكن ملؤه بل يصبح أكبر وأكبر كلّما ابتلع المادّة. إنه محجوب بستارة تحول بينه وبين العيون المحدقة ـ حتّى عيون الطبيعة ـ حيث لا معلومات تمرّ من مركز الثقب الأسود إلى البيئة الخارجية. في الواقع، المنطقة التي بالقرب من الثقب الأسود معزولة عن بقية الكون. وبمعنى ما، فإن كلّ ثقب أسود هو كون مستقل.

الثقوب السوداء هي نجوم ضخمة ماتت موتًا دراماتيكيًّا(********). فطوال حياة النجم، يكون (غالبًا) عبارة عن سحابة من الهيدروجين في حالة توازن هش. من ناحية، الكلتة الكلّية للنجم ـ قوة الجاذبية التي يبذلها على نفسه ـ تحاول أن تقلص حجمه إلى نقطة. ومن ناحية أخرى، فإن التفاعلات النووية التي تدمدم في الفرن النجمي ـ حيث يحول النجم الهيدروجين إلى هيليوم وعناصر أثقل ـ تحاول أن تمزقه. ولملايين ومليارات السنين (حسب كتلة النجم) تبقى كلتا القوتين متوازنتين، الجاذبية لا تستطيع تحطيم النجم بسبب قوة تفاعل الاندماج التي تعمل باتجاه الخارج، بينما فرن الاندماج في مركز النجم لا يمكنه تمزيق النجم لأن مادة النجم ممسوكة بالجاذبية.

لكن عندما يبدأ الوقود النجمي في النضوب، فإن هذا التوازن يضطرب. ويدمدم فرن الاندماج متوهجًا وينفجر لأنه يستخدم أنواعًا مختلفة من الوقود. فيتقلص النجم وينتفخ ليتقلص مرة ثانية. وعند نقطة معينة، ينفذ الوقود النجمي. وتقل القوة التي تدفع باتجاه الخارج وتتبقى الجاذبية كقوة وحيدة بدون رادع من قوّة الاندماج. النجم الكبير بما يكفي ينهار سريعًا على نفسه، مولدًا انفجارًا مهولًا: السوبر نوفا super-nova، إنه الحدث الأكثر عنفوانا في الكون.

تتطاير معظم كتلة النجم بعيدًا في انفجار طاقة عنيف، لكن تتبقى نسبة معقولة، ممسوكة بجاذبية النجم المنهار، الذي يصبح أصغر وأصغر وأصغر في جزء ضئيل من الثانية. إذا كان النجم كبيرًا بما يكفي، فستكون قوة الجاذبية قوية جدًّا بحيث لا يستطيع شيء وقف انهياره، ويصبح أكثف وأكثف كما يصبح بالغ الصغر وبالغ الصغر. يصبح أصغر من شمسنا، أصغر من الأرض، أصغر من القمر، أصغر من كرة سلة، أصغر من ثمرة جريب فروت، أصغر من حبّة بازلاء، أصغر من ذرة. وبقدر ما يعرف العلماء، لا شيء في الكون يمكنه وقف النجم من أن يتقلّص إلى شيء تافه، ويجرى تعبئة كتلة عشرات أو مئات الشموس في اللا فضاء تقريبًا. ويصبح مفردة singularity، نقطة الكثافة اللا نهائية، حيث يصبح انحناء الفضاء والزمن مطلقًا. الثقب الأسود هو حفرة بلا قاع في الزمكان، شق لا نهائي حيث لا يبقى في الحقيقة للزمن والفضاء أي معنى. وبسبب هذا، بسبب أنه شيء ثقيل جدًّا، فإنه يخضع لقوانين النسبية، كما يخضع لقوانين ميكانيكا الكم لأنه بالغ الصغر، فالثقوب السوداء هي المناطق التي تكون فيها النظريتان في صراع مباشر. بدراسة هذا الشقّ في الزمكان، المفردة في قلب الثقب الأسود، ربما يقدر العلماء على حلّ الصراع بين النظريتين. وربما تكون نتيجة ذلك هي «نظرية موحدة» unified theory وحيدة، والتي يمكن أن تنطبق على كلّ المستويات وكلّ المناطق في الكون. وقد يكون هذا قمة إنجاز الفيزياء.

لسوء الحظّ، دراسة الثقب الأسود، ليست محلّ تساؤل حتّى ولو نظريًّا. فالجرح في بنية الكون ليس جرحًا مفتوحًا، وتفرد الثقب الأسود محاط بحجاب يمنعه عن العيون المحدقة. وبالرغم من أن هذا الحجاب ليس شيئًا ماديا ـ فلن تلحظه إذا مررت من خلاله ـ إلا أنه يصنع حدًّا بين الكونين. وأي شيء يعبر أفق الحدث event horizon لن يمكنه الفرار أبدًا من قبضة الثقب الأسود، حتّى ولا الضوء يمكنه التحرّك بسرعة تكفيه لدفع نفسه بعيدًا عن شدّ جاذبية النجم المنهار.

سميت الثقوب السوداء بهذا الاسم من قبل جون ويلر John Wheeler عالم الفيزياء ببرينستون، حيث أدرك أن مثل هذا الشيء الرهيب لا بد أن يكون الأكثر إظلاما في الكون. لأن النجم الثقيل يمتص أي ضوء أو مادة تعبر حاجزه أحادي الاتجاه، وسيظهر كبقعة كبيرة معتمة في السماء.

العلماء الآن على بعد عقد أو أكثر من القدرة على رؤية ظلام الثقب الأسود مباشرة. وفي اللحظة الحالية، هم قادرون فقط على الاستدلال على وجود الثقب الأسود من خلال حركة النجوم حوله. ففي مركز مجرتنا، على سبيل المثال، تدور النجوم الثقيلة حول كتلة هائلة غير مرئية أثقل بملايين المرات من شمسنا. وحركة تلك النجوم يسببّها شدّ جاذبية الثقب الاسود. حتّى لو أن الثقب الأسود غير مرئي، يستطيع العلماء أن يروا كيف يجذب النجوم ويلتهم المادّة.

لكن حتّى بأقوى التليسكوبات في الكون، فإن رؤية خيال الثقب الأسود لن يخبرنا عن التفرد، هذا الشقّ في الزمكان في قلب النجم المنهار. في الواقع، حتّى لو كنا قادرين على إلقاء مسبار في حويصلة maw الثقب الأسود، فإن المسبار لن يتمكّن من إخبارنا بأي شيء عن التفرد أو المنطقة المخفية بأفق الحدث.

تخيل أننا في سفينة فضاء بحثية وندور في مدار بمسافة آمنة من ثقب أسود. والسفينة معدّة بمسبار للاستعمال لمرّة واحدة ـ إنسان آلي صغير يرسل رسالة مشفرة إلى السفينة الأم كلّ ثانية، بيب..بيب..بيب. وقد بني هذا المسبار بصلابة شديدة جدًا بحيث يتحمّل قوى الجاذبية التي ستحاول أن تمزقه إلى أشلاء ويتحمل الإشعاعات التي ستعمل على تفحم دوائره الكهربائية، لا يهم كيف يحاول الثقب الأسود أن يدمره، فإن هذا المسبار سيبعث رسالة واحدة، صفارة واحدة، كلّ ثانية حتّى نهاية الزمن.

الآن دعنا نطلق المسبار من السفينة باتجاه الثقب الأسود، من وجهة نظر المسبار، فإنه يبعث تكتكة كلّ ثانية، كلّ ثانية، بينما يحلق باتجاه النجم المنهار. إنه يلاحظ الكثير من التأثيرات البصرية الغريبة بسبب انحناء الضوء المتأثر بالجاذبية، وسيبدو أن كلّ النجوم في الكون تتحطم معًا، لتشغل أخيرًا أقل من نصف السماء. لكن المسبار يستمر، متكتكًا بمرح وحده. إن عبور أفق الحدث ليس أكثر من حادثة مهمة على أي حال. سيرسل رسالة لاسلكيّة «أنا على وشك عبور أفق الحدث... الآن» عندما يعبر الحاجز، لكنّه لا يرى أي حاجز مادي أو أي شيء يشير إلى أنه قد عبر إلى عالم اللاعودة، لا شيء غير عادي يحدث. إنه يظلّ يرسل صفارة وصفارة وصفارة كلّ ثانية بينما يسقط باتجاه المفردة. تلك الصفارات تحتوي معلومات عمّا يراه المسبار، لقد عبر أفق الحدث، إنه يرسل الرسالة لاسلكيًّا عن العالم خلف الستارة التي تحجب الثقب الأسود. المسبار سوف يسقط إلى المفردة، إلى مركز الثقب الأسود، ويختفي ـ مصدرًا صفارة كلّ ثانية إلى ما لا نهاية. إن مسبارنا قد أرسل لنا معلومات قيمة عن المنطقة غير المعروفة بالقرب من قلب الثقب الأسود.

المشكلّة الوحيدة هي أن تلك الرسائل الثمينة لن تصل أبدًا إلى السفينة الأم. حتّى مع أنه ـ من وجهة نظر المسبار ـ قد أرسل رسالة كلّ ثانية، فنظرية النسبية لآينشتين تخبرنا أن حقول الجاذبية تؤثر على الفضاء والزمن تمامًا مثلما تفعل الحركة السريعة. لذا، فمن وجهة نظر سفينتنا الأم، فإن ساعة المسبار لا تنتظم كلّما اقتربت من الثقب الأسود، إنها تبطئ. الصفارات تصبح متباعدة أكثر وأكثر كلّما صار المسبار أقرب وأقرب من الثقب الأسود: متباعدة بمقدار 1.1 من الثانية، ثم 1.5 من الثانية، ثم 3 ثوان، ثم 10 ثوان، ومتباعدة بمقدار دقيقتين وهكذا وهكذا. بينما يقترب المسبار من أفق الحدث، تصبح الرسائل أضأل وأضأل. لا يزال الأمر غريبًا، ويصبح أصعب وأصعب رؤية المسبار. والضوء الآتي من المسبار يصبح أكثر احمرارًا وأكثر احمرارًا وأخفت وأخفت كلّما اقترب المسبار من أفق الحدث. وسريعًا ما سيصبح غير مرئي للعين البشرية، حتّى التليسكوب الحسّاس الذي يعمل بالأشعّة تحت الحمراء على متن السفينة سيجد مشكلة في تحديد المسبار، الذي ما زال يظهر أنه يسقط باتجاه أفق الحدث.

سنبقى نلاحظ المسبار ونسجل حتّى الرسائل الأقل تكرارًا التي تأتي على مبعدة أيام، على مبعدة أسابيع، على مبعدة سنوات، على مبعدة عقود، بعد سنوات وسنوات وسنوات من الملاحظة، سيكون المسبار عبارة فقط عن ظل باهت بشكل لا يصدق يحوم بالقرب من حافّة أفق الحدث ـ لكن لا يعبرها أبدًا. أخيرًا، سنحصل على رسالة طويلة من المسبار. ستستغرق السفينة الأم عدة سنوات لاستقبال الرسالة «أأأنننااااا علللللللللى ووووششششككككككك ععععبببببببووررررررر أأأأأأأأأأفففففففففققق ااااالللللللللحدددددددددثثثثثثثث...» لكن الكلمة الختامية للرسالة، «الآن» لن تصل أبدًا. سنسمع آخر رسالة من المسبار، الذي سيتلاشى عن الرؤية، حائمًا للأبد على حافّة أفق الحدث ـ لكنّه لا يعبره أبدًا.

لا يهم كيف نحاول، لا يهم درجة تقدّم مسبارنا أو تلسكوبنا، فمن المستحيل الحصول على أي معلومة من خلف أفق الحدث على الإطلاق. وبالضبط كما أن شدّة الجاذبية تمنع أي ضوء من عبور الأفق والفرار من الثقب الأسود، فإنها تمنع أي معلومة من فعل ذلك أيضًا. إنها الخاصية المدهشة لأفق الحدث، إنه يعزل ما داخل الثقب الأسود عن بقية الكون، إنه يمنع المعلومات من الهرب. يمكنك أن تكتشف منطقة ما وراء أفق الحدث بنفسك ـ فقط اقفز إلى الثقب الأسود ـ لكنك لن تقدر أبدًا على مشاركة اكتشافك مع أيّ شخص وراء أفق الحدث. ربما تكتشف بالضبط ما يقع في مركز الثقب الأسود ـ ربما تحلّ غموض المفردة ـ لكنك لن تكون قادرًا على إخبار القصة للعلماء على الأرض، حتّى مع أعظم وأقوى أجهزة الإرسال في الكون. فأفق الحدث هو مراقب censor كوني، يمنع الملاحظ من معرفة ما يقع خلفه.

هذه العقبة أمام المعلومات كاملة، بحيث أن الملاحظ الخارجي يمكنه فقط الحصول على مقدار محدود جدًّا من المعلومات عن الثقب الأسود. يمكنك معرفة كم هو ضخم: بمشاهدة الطريقة التي يؤثّر بها على الأشياء القريبة، يمكنك حساب مقدار الكتلة التي يحتويها. يمكنك أن تحسب مدى سرعة غزله، مقدار كمية الحركة الزاوية angular momentum التي يملكها (فالثقب الأسود ذو غزل مسطح بعض الشيء وأفق الحدث مفلطح، والأشياء القريبة تتأثر بغزل الثقب الأسود بعدّة طرق بارعة). يمكنك قياس مقدار الشحنة الكهربائية التي يحملها الثقب الأسود، مع أنه لا يوجد سبب للاعتقاد أن الثقب الأسود، في الطبيعة، يحمل مقدارًا من الشحنة ذي أهمية. والأكثر من هذا،

الثقوب السوداء هي تقريبا رسالة بالشفرة. بمعنى ما، إن أبسط الأشياء في الكون لا يمكن تمييزها تمامًا فيما عدا تلك الخصائص الثلاثة.

لا يمكنك معرفة ممّ يتكون الثقب الأسود. ربما يتكوّن من سحابة من غاز الهيدروجين، أو لبنة هائلة من المادّة المضادةanti-matter، أو مجموعة من النيوترونات، أو حتّى كومة كبيرة من الفورد بينتوز Ford Pintos، وبهذا الخصوص فإن نوعية الكتلة لا أهمية لها بالموضوع، ما المادّة التي تذهب لبناء الثقب الأسود، فكلّ المعلومات عن (والمخزنة على) المادّة لا يمكن الحصول عليها لأن تلك المادّة تختفي خلف ستارة أفق الحدث. لا يمكن الوصول إليها، لذا لن نستطيع أبدًا أن نعرف إذا ما كانت كلّ الثقوب السوداء مكونة من نجوم منهارة، أو أن هناك واحد صناعي صنع خارج الكتلة الحرجة لصناديق قمامة غريبة. لا يمكننا أن نعرف نوع الكتلة التي قامت بصناعة الثقب الأسود، كلّ ما نستطيع تمييزه هو مقدار الكتلة في الثقب الأسود وطريقة غزله.

في ستينيات القرن الماضي، صاغ ويلر Wheeler العبارة التي تلخص تقريبا النقص التام في المعلومات الخاصة بتركيب الثقب الأسود «الثقب الأسود ليس له شعر». وهذا هو الموضوع، فالثقوب السوداء ليس لها صفات مميزة: لا شيء يبرز وراء أفق الحدث يجعلك تعرف ممّ صنع الثقب الأسود. إن تنظيرة لا ـ شعر no-hair theorem تعتبر الآن أحد معتقدات نظرية الثقب الأسود، وقد تم البرهنة على ذلك في سبعينيات القرن الماضي على يد ستيفن هوكينج وعددٍ من علماء الفيزياء الآخرين. إن الثقب الأسود يبتلع كلّ المعلومات عن نشأته عندما يلوذ خلف أفق الحدث.

ولا حتّى الطبيعة نفسها تستطيع تجميع المعلومات عن منطقة خلف أفق الحدث. كلّ مجسات الطبيعة، كلّ أدوات قياسها، غير قادرة على اختراق أفق الحدث والعودة منه. الأشعّة الكونية تختفي داخل حويصلة الثقب الأسود، كذلك الفوتونات التي تغمر الكون. حتّى الجسيمات التي يتم خلقها بتقلبات الفراغ يتم ابتلاعها. لا يوجد شيء، لا شيء على الإطلاق، يمكن أن تفعله الطبيعة أو أي ملاحظ آخر لاستعادة المعلومات التي اختفت خلف أفق الحدث. فالمعلومات عن نشأة الثقب الأسود قد فقدت للأبد بالنسبة للكون.

هذه حالة مقلقة جدًّا جدًّا للباحثين في مجال المعلومات. في الفصل السابق، بدا أن المعلومات تحفظ دائمًا. فالطبيعة لا يمكنها خلق أو إفناء المعلومات الكمية، إنها تستطيع إعادة ترتيبها، تخزينها، تشتيتها، لكن الطبيعة لا يمكنها محو المعلومات أبدًا. إلا أن الثقب الأسود يبدو أنه يقوم بذلك. قم بتخزين كيوبتة على ذرّة وألق بها في ثقب أسود وستفقد تلك الكيوبتة بالنسبة للكون، في الواقع، ستضيع كلّ المعلومات الكمية عن تلك الذرّة بما فيها كينونتها الذرية. وكلّ ما سيتبقى هو الدليل على كتلة الذرّة، على كمية الحركة الزاوية والشحنة، التي تضاف كلّها إلى الثقب الأسود. حتّى الطبيعة نفسها لا يمكنها التكهن إذا ما كنا قد ألقينا ذرة أو نيوترونا أو مادة مضادّة، بأقل من تكهنها بما كانت عليه الحالة الكمية للذرة والمعلومات الكمية التي تحتويها. الأمر يبدو كلّه كتدمير المعلومات، ممّا قد يعصف بالقانون الجديد، قانون حفظ المعلومات، إلى قطع. وهذا هو التناقض الظاهري للثقوب السوداء.

ربّما رأيت وصفات شعبية للتناقضات الظاهرية للثقوب السوداء ـ عادة ما تشتمل على بعض الغمغمة عن قذف موسوعات إلى ثقوب سوداء ـ لكن المقالات نادرًا ما تحمل معنى أكثر من هذا. ذلك لأن المشكلة أكثر عمقًا من اختفاء المعلومات الكلاسيكية التي تتضمّنها الموسوعة. التناقض الظاهرى يتوقف على فقد ـ على الأقل بالنسبة للطبيعة ـ كلّ المعلومات الكمية عن أي مقدار من المادّة تقذفه إلى الثقب الأسود. ومع أن هناك أسبابًا قوية للاعتقاد في بقاء المعلومات، فإن المعلومات تضيع داخل ذلك الجزء من المادّة. المعلومات لا يمكن الوصول إليها. ولكن هل جرى إفناؤها؟ هل تلك المعلومات قد تم محوها بلا أثر؟

لا أحد يعرف. لكن هناك سببًا للاعتقاد بأن الأمر ليس كذلك، وأن المعلومات تبقى حتّى بالرغم من الظروف القصوى لعذاب السقوط في الثقب الأسود.

من المستحيل استعادة المعلومات عن منطقة محجوبة بأفق الحدث، لكن هذا لا يمنع الطبيعة من المحاولة. إنها تقوم بالسبر باستمرار عن طريق الأشعّة الكونية والفوتونات وتقلبات الفراغ. ومع أن تلك المحاولات لا تستعيد أية معلومات، فإنها تقوم بتأثير يمكن قياسه.

الخندق الأخير الذي تنطلق منه الطبيعة لعمل مخطط للقياس باستخدام تقلبات الفراغ، هو تلك الجسيمات التي تنبثق إلى الوجود وتخرج منه في كلّ نقطة من الفضاء. تلك الجسيمات تميل لأن تكون في زوج ـ الجسيم نفسه مع مضاده ـ يولدان تلقائيًّا، ليحلّقا بعيدًا للحظة، ثم يعودان ليتحطّما معًا، إذ يفني كلّ منهما الآخر. لكن على طول أفق حدث الثقب الأسود، تتغير تلك الظروف قليلًا. فعند أقصى حافّة أفق حدث الثقب الأسود، تخلق الطبيعة أزواجًا من الجسيم/ضدّ الجسيم دائمًا، لكن في بعض المرّات يعبر أحد الجسيمات أفق الحدث ويحاصَر، بينما يهرب الآخر، ليحلّق بعيدًا في الفضاء. هذا الجسيم لا يحتوى معلومات عمّا بداخل الثقب الأسود. بالرغم من أنه ـ وملايين الجسيمات الأخرى التي تولد بالطريقة نفسها ـ يدين بوجوده لخلقه على طول أفق الحدث. الملاحظ بالقرب من الثقب الأسود سيرى أفق الحدث «يشع» زليونات من تلك الجسيمات، حتّى مع أن الثقب الأسود يبتلع كلّ شيء يتهور بعبور أفق الحدث، فإنه مازال يشعّ المادّة والطاقة على شكلّ تلك الجسيمات التي فقدت أشقاءها. إن قياس الطبيعة وتقلبات الفراغ، يجعلان الثقوب السوداء تشعّ الجسيمات إلى الفضاء.


افلات أحد الجسيمين إلى الفضاء
سقوط الجسيم الآخر
في الثقب الأسود
زوج من الجسيمات الافتراضية
التي تنبثق إلى الوجود

إشعاع هوكنج

في سبعينيات القرن الماضي، أثبت ستيفن هوكينج أن ذلك الإشعاع خامل بما يكفي، أنه يتبع ما يسمى طيف الجسم الأسود blackbody spectrum. في القرن التاسع عشر، عرف لودفيج بولتزمان وبعض العلماء الآخرين كيف يصفون كمية الإشعاع التي تتدفّق من شيء خامل مثالي ـ الجسم الأسود ـ عند درجة حرارة معينة. الثقوب السوداء تتصرّف كالأجسام السوداء، لذا فكمّية الإشعاع التي تتناثر منها مسئولة عن درجة حرارتها. الثقوب السوداء هي أجسام سوداء باردة جدًّا، حيث إن الإشعاع الذي تبعثه، إشعاع هوكينج Hawking radiation للثقوب السوداء ـ الذي تعتمد خصائصه على انحناء وحجم أفق الحدث ـ يبين مدى سخونة الثقب الأسود. مع أن الحرارة ليست جزءًا إضافيًّا من المعلومات ـ فيمكن الاستدلال عليها من كتلة الثقب الأسود وغزله وشحنته ـ فإنها تبين أن للثقب الأسود درجة حرارة محدّدة جدًّا ولذلك يمكن تحليلها بقوانين الديناميكا الحرارية. إنها تحمل أيضًا بذور زوال الثقب الأسود.

يبدو مجال الديناميكا الحرارية للثقب الأسود غريبًا للدراسة، فالثقوب السوداء ليست حاويات للغاز أو كتلًا عادية من المادّة. لكن قوانين الديناميكا الحرارية تعطي بعض الأفكار المدهشة عن خصائص الثقوب السوداء. لسبب واحد، فكلّما صغر الثقب الاسود، أصبح أسخن وكلّما زاد الإشعاع الذي يبعثه لكلّ وحدة من المساحة. ولهذا نتيجة غريبة، أنه يجعل الثقب الأسود ينفجر.

الثقب الأسود بدرجة حرارة محدودة يشعّ طاقة، وعندما يشعّ شيء ما الطاقة ـ حتّى لو كان ثقبًا أسود ـ فلا بدّ أن يحصل على الطاقة من مكان ما. (الجسيمات الآتية من تقلبات الفراغ لا تعطي أيّ طاقة، إنها أساسًا «مستعارة» من حساب الطبيعة والرصيد يجب أن يعاد دفعه بشكل ما) الثقب الأسود الذي يغزل يمكنه استخدام الطاقة المختزنه في دورانه، فيبطئ كلّما أشع، لكن بمجرد أن يتوقّف عن الغزل، فإن هذا المصدر يذهب. ويجب أن يحصل على تلك الطاقة من مكان آخر. وهذا المكان الآخر هو كتلة الثقب الأسود نفسه. الثقب الأسود يستهلك كتلته الخاصّة لخلق الإشعاع. لكن الثقب الأسود قليل الكتلة له أفق حدث أصغر، وأفق الحدث يتقلّص ويصبح جزيئا أكثر انحناءا. وكلّما صغر أفق الحدث، كلّما أصبح الثقب الأسود أسخن، ويبعث إشعاعا أكثر. إنه يتقلّص أكثر ويسخن مرّة أخرى ويبعث المزيد من الإشعاع حتّى، أصغر، أسخن، أصغر، أسخن. وأسرع وأسرع تتقدّم الدورة كلّما تقلص وسخن الثقب الأسود، ويتبخّر الثقب الأسود. في الحقيقة، تصبح الدائرة المتسارعة خارج السيطرة، ويتقلّص الثقب الأسود إلى لا شيء في طرفة عين ويختفي في ومضة إشعاع، الثقب الأسود يموت.

سيمرّ وقت طويل حتّى يتبخّر الثقب الأسود. فالثقب الأسود الذي هو ضعف كتلة الشمس يأخذ أكثر من 6710 سنة ليشع ّنفسه وينفجر، وعمر الكون بالمقابل أكثر قليلًا من 1010 سنة. لكن يومًا ما، بعد عدّة وعدّة سنوات من الآن، ربما ستبدأ الثقوب السوداء عبر الكون في الانفجار. واحدًا تلو الآخر، حيث تتقلّص آفاق الأحداث إلى لا شيء، مطلقة المعلومات التي كانت تخبئها ذات مرّة، ربّما.

يبدو من المرجح أن تبخر وانفجار الثقب الأسود سوف يطلق المعلومات التي كانت مخبّأة خلف أفق الحدث، محجوزة عن قياسات الطبيعة المحدقة. إذا كانت المعلومات محفوظة أكثر من كونها مدمّرة، فستتحرّر عندما يموت النجم الأسود، وسيبقى قانون حفظ المعلومات مطلقًا، ستبقى المعلومات حتّى بعد رحلة في الثقب الأسود. ومع ذلك، من المرجح جدًّا أن تفقد المعلومات للأبد،

فإذا ألقيت كيوبتة في ثقب أسود ولم يطلق الانفجار تلك الكيوبتة إلى البيئة بأي شكل، ستكون تلك الكيوبتة قد دمّرت. الثقوب السوداء ربّما تفوق قانون حفظ المعلومات. لا أحد يعرف أي سيناريو حقيقي، في 6 فبراير 1997، راهن ثلاثة علماء على تلك النقطة الهامّة. وكانت شروط المراهنة كالتالي:

بينما يعتقد هوكينج وثورن بشدّة أن المعلومات التي تبتلع في الثقب الأسود تختفي للأبد عن الكون الخارجي. ولا يمكن استعادتها حتّى لو تبخر الثقب الأسود وتوارى تمامًا.

وبينما اعتقد جون بريسكل بشدّة أن آلية إطلاق المعلومات بتبخر الثقب الأسود يجب وسوف توجد في النظرية الصحيحة للجاذبية الكمية.

لذا فقد عرض بريسكل، وقبل هوكينج وثورن الرهان التالي:

عندما تجتاز حالة كمية خالصة وأولية انهيارًا جاذبيًّا لتشكّل ثقبًا أسود، فإن الحالة النهائية عند نهاية تبخر الثقب الأسود ستكون دائمًا حالة كمية خالصة. والخاسر سوف يكافئ الفائز بموسوعة حسب اختيار الفائز، يمكن أن تستعاد منها المعلومات أيضًا(********).

راهن هوكينج وثورن على حقيقة أن الثقب الأسود يستهلك المعلومات، ويدمّرها عندما تمرّ بأفق الحدث. فإذا قمت بتخزين كيوبتة خالصة على نجم فلنقل (0) أو (1) أو كيوبتة مختلطة (0&1)، وإذا انهار هذا النجم فجأة إلى ثقب أسود، فإن تلك الكيوبتة ستفقد بالنسبة للكون إلى الأبد. بيرسكيل من ناحية أخرى، قامر بأن الكيوبتة ستحفظ. فمع أن الكيوبتة فقدت بالنسبة للطبيعة مع وجود الثقب الأسود، إلا أنها فقط محبوسة حتّى ينفجر الثقب الأسود. عندما يدمر الثقب الأسود نفسه ويختفي أفق الحدث، فإن الكيوبتة الأولية ستكون هناك في مكان ما. إذا انطلق النجم في حالة خالصة (0) أو (1) فسيكون من الممكن قياس هذه الحالة الخالصة مرة أخرى. إذا انطلق النجم في حالة خليط مثل (0&1) فإن الحالة الخليط أيضًا سيمكن قياسها أيضًا مرّة أخرى. الكيوبتة كانت ببساطة مخزنة عميقًا، لكنّها لم تدمر. ويبقى قانون بقاء المعلومات. مع أن مراهنة بيرسكيل/ثورن/هوكينج بدت رهانا أحمق ـ من النوع الذي ربما لا يمكن حله أبدًا ـ فإنهم لم يكونوا يراهنون سوى على القوانين الأساسية التي تحكم الكون. إذا لم تكن المعلومات محفوظة، إذا دمرت في الثقب الأسود، فعلى العلماء البحث في مكان آخر عن القوانين التي تتحكّم في كلّ مكان في الكون. لكن إذا كان يمكن أن تبقى المعلومات خلال رحلة في ثقب أسود حقًّا، فربما كانت هي الشيء الوحيد الذي يبدو أنه يبقى بلا تغيير بعد عبور أفق الحدث. فالمعلومات ربّما كانت لغة الطبيعة الأساسية غير القابلة للتغيير. والقوانين الفيزيائية، حتّى تلك التي تنطبق على مركز الثقب الأسود، عليها الانصياع لقوانين المعلومات، المعلومات هي القانون الأسمى.

لكن أي جانب كان على صواب؟ المعلومات مع بيرسكيل، أو الثقب الأسود مع هوكينج وثورن؟ إذا أردت وضع رهانك في أحد الجانبين. ستكون قد أضعت فرصتك. ففي أكثر الإعلانات صخبًا في مؤتمر النسبية العامة المنعقد في دبلن في عام 2004، تنازل هوكينج عن الرهان. فقد أتى بنظرية رياضية توضح بحسب افتراضه أن المعلومات لا يمكن استهلاكها في الثقب الأسود بلا رجعة. «إذا قذفت إلى ثقب أسود، فإن كتلتك ـ طاقتك ستعود إلى كوننا... في الشكل المشوّه الذي يحتوى المعلومات عن الذي كنت تشبهه، لكن في حالة لا يمكن إدراكها بسهولة» قال هوكينج، الذي سلم حينها باليد لبيرسكيل نسخة من الموسوعة الأساسية عن كرة السلة: كرة السلة

الشاملة(********). (لم يتنازل ثورن عن الرهان، فهو غير مقتنع حتّى الآن، وقد وافق على ردّ المال لهوكينج في حالة إذا ما غير وجهة نظره واقتنع في النهاية. الغريب أن، نظرية هوكينج الرياضية بدا أنها لم تغيّر تفكير أحد إلا هوكينج نفسه).

عندما تنازل هوكينج عن الرهان، فإن أغلب الأصوات المناوئة لحفظ المعلومات قد نحيت جانبًا. لقد أخذ الأمر عقودًا من الجدل عن الديناميكا الحرارية للثقوب السوداء، النسبية العامة، الفيزياء الجسيمية، ونظرية المعلومات لكي يقتنع هوكينج، وما زال هناك من يصرّ على عدم الاقتناع، حتّى بالرغم من أن معظم المجتمع العلمي للفيزياء الجسيمية ونظرية الأوتار string theory، قد اقتنع منذ مدّة طويلة بأن المعلومات لا بدّ وأن تبقى حتّى في ظلّ القوّة التدميرية القصوى للثقب الأسود.

أحد أكثر الأسباب التي تجبر علماء الفيزياء على الاعتقاد بأن المعلومات تحفظ دائمًا، هي أن الديناميكا الحرارية للثقوب السوداء تقضي بأن يكون لها ليس فقط درجة حرارة وإنما انتروبيا. وقوانين بولتزمان التي تصف ترتيب الذرات في الغاز ـ التي أدّت إلى نظرية المعلومات ـ تنطبق أيضًا على الثقب الأسود.

عندما تسقط المادّة في الثقب الأسود، فإنها تفقد هويتها. قم بإلقاء كيلوجرام من الهيدروجين أو كيلوجرام من الريش أو كيلوجرام من الرصاص أو كيلوجرام من المادّة المضادّة أو كيلوجرام من القطط إلى ثقب أسود وستكون النتيجة النهائية واحدة. الثقب الأسود يبتلع المادّة إلى داخله ويتمدّد قليلًا. تزيد مساحة أفق الحدث بمقدار ضئيل. والمعلومات عن المادّة التي ألقيت إلى الثقب الأسود تكون قد فقدت بالنسبة للطبيعة.

هناك عدد ضخم من الأشياء يمكن أن نلقيها في الثقب الأسود للحصول على النتيجة نفسها. هناك عدد هائل من الطرق التي يمكننا أن نجعل بها الثقب الأسود يزيد من مساحته بتلك الطريقة الخاصة، إلا أن الثقب الأسود الذي ابتلع ما قيمته كيلوجرام من الرصاص يمكن تمييزه عن الذي ابتلع ما قيمته كيلوجرام من الريش. بكلمات أخرى، هناك تحلّل degeneracy بين الثقب الأسود الذي يبتلع الريش وذلك الذي ابتلع الرصاص. بالعودة إلى الفصل الثاني، بدأت مناقشة الانتروبيا بإلقاء كرات البلي في الصندوق، ولأن كرات البلي تلك كانت متماثلة، فالعديد من الترتيبات كانت تتحلّل degenerate مع بعضها بعضًا. عدم القدرة على التمييز بين تلك الترتيبات أدّى إلى منحنى الجرس، الذي أدّى بدوره إلى مفهوم الانتروبيا.

في سبعينيات القرن العشرين، فإن علماء مثل هوكينج وثورن وفوجزيتش زوريك Wojciech Zurek وجاكوب بيكينشتين Jacob Bekenstein قد أدركوا أن عملية إلقاء مادّة خلال حلق الثقب الأسود يناظر تمامًا إلقاء كرات البلي في الصندوق. فكلا الحالتين يؤدّيان إلى مفهوم الانتروبيا. الرياضيات مشابهة جدًّا لحالة وعاء مملوء بالغاز، إنها تثبت في النهاية أن انتروبيا الثقب الأسود متناسبة طرديًّا مع لوغاريتم عدد الطرق التي يمكن صنعها $S=k \log W$. الثقب الأسود يخضع لقوانين الديناميكا الحرارية مثل وعاء مملوء بالغاز.

لكن هناك نقيصة مثيرة بالنسبة للثقب الأسود. فإلقاء المادّة في الثقب الأسود يزيد من انتروبيا الثقب الاسود. إنها تزيد أيضًا من مساحة أفق الحدث بكمية محددة. وينتهي الأمر إلى أن هاتين الخاصيتين ـ الانتروبيا ومساحة أفق الحدث ـ مترابطتان بطريقة لا فكاك منها. قم بزيادة واحدة

وستزيد الأخرى بالكمية نفسها، انقص واحدة وستنقص الأخرى بالنسبة نفسها. انتروبيا الثقب الأسود هي بالضبط الشيء نفسه مثل حجم أفق حدثه.

إذا كان للثقب الأسود انتروبيا فربّما سيكون له، مثل وعاء مملوء بالغاز، عددًا مختلفًا من الترتيبات التي قد يكون عليها. بالرغم من أنه بلا ملامح خارجية، فإن الثقب الأسود لديه عدد هائل من الحالات الكمية المختلفة. ربما يستطيع تخزين الكيوبتات، وعدد الكيوبتات التي يمكن أن يخزنها تتناسب طرديًّا مع مساحة سطح أفق الحدث.

العلماء لا يعرفون حقيقة، كيف يصفون الثقب الأسود بمصطلحات ميكانيكا الكم. لذا فهم لا يعرفون حتّى الآن أي تفاصيل عمّا إذا كانت المعلومات يمكن أن تبقى في الثقب الأسود أم لا. لكن هناك عددًا قليلًا من النتائج النظرية الداعمة لذلك. الباحثون في نظرية الأوتار لديهم أفكار عن كيفية حفظ المعلومات في الثقب الأسود. كذلك يفعل العلماء الملتزمون بنوع آخر من النظريات: جاذبية الأنشوطة الكمية quantum loop gravity. وهناك تقنيات أخرى، مثل معاملة الثقب الأسود على أنه مثل ذرة عملاقة متذبذبة، تعطي أيضًا إشارات عن الطبيعة الكمية للثقب الأسود. وحديثًا، فإن جاذبية الأنشوطة الكمية وتقنية الذرّة المتذبذبة أعطت صورة مماثلة بشكل ملحوظ للفضاء والزمن حول الثقب الأسود، ربما تفيد أن العلماء على المسار الصحيح لفهم فيزياء الثقب الأسود.

هذا المسار قاد العديد من العلماء للتفكير في أن الثقب الأسود يمكنه تخزين المعلومات. وفي الواقع، يعتقد معظم العلماء هذه الأيام أنه يمكنك التحدث عن المعلومات التي تحتويها الثقوب السوداء، وأن المعلومات في الثقب الأسود مرتبطة بحجم أفق حدثه. ويذهب بعضهم حتّى أبعد من ذلك، ويجادل بأن الثقب الأسود يستطيع أن يعالج المعلومات. ففي عام 2000، خطط عالم الفيزياء سيث لويد Seth Lloyd من MIT لإجراء بحث غريب الأطوار لتصميم كمبيوتر قصوي محمول ultimate laptop، أسرع كمبيوتر ممكن. في تجربة التفكير، حاول لويد حساب أكبر عدد من عمليات الحوسبة computations يمكن أن تقوم بها كتلة بوزن كيلوجرام في الثانية ــ بأيّ ترتيب ـ فحسب أنه إذا كانت محدودة في لتر من الفضاء، فإن كتلة بوزن كيلو جرام يمكنها تخزين 3110 بتة من المعلومات، ثم قام بحساب مدى السرعة التي يستطيع بها الكمبيوتر المحمول معالجة هذه البتات.

يعد مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج عاملًا مقيدًا، فالعلاقة بين الطاقة والزمن تعني أنه كلّما تسارعت معالجة بتة من المعلومات فلنقل، تقليب 0) flipping)إلى (1) والعكس بالعكس، كلّما زادت الطاقة التي ستحتاجها لتقليب تلك البتة. لذا، ولكي يجعل الكمبيوتر أسرع ما يمكن، قام لويد بتحويل كلّ كتلة كمبيوتره القصوي المحمول إلى طاقة عن طريق معادلة آينشتين $E=mc^2$. لتصبح الكتلة عبارة عن كرة بلازما درجة حرارتها مليار درجة مئوية ولديها كمية مهولة من الطاقة المتوفّرة لمعالجة المعلومات التي تحتوي عليها. بالطبع، سيجعل هذا من الصعب تمامًا تصنيع كمبيوتر لويد المحمول. لكن لا يهم.

لكن تسريع تقليب البتة وزيادة سرعة المعالجة هو فقط نصف القصة. فإذا أردت فعلًا تسريع كمبيوترك، يجب عليك أيضًا خفض slash الزمن الذي تأخذه مواقع الذاكرة للاتصال ببعضها. ولأن المعلومات في الكمبيوتر مادية ولا بدّ من نقلها من مكان لآخر بسرعة الضوء أو أبطأ، فكلّما قلت المسافة التي تقطعها المعلومة، أدّى الكمبيوتر عملياته بشكل أسرع. لذا تخيّل لويد أن يضغط

كمبيوتره البلازما المحمول إلى أصغر حجم ممكن: لقد ضغطه إلى ثقب أسود. فهذا يقلّل الزمن الذي تستغرقه المعلومات، التي يفترض بقاؤها على أفق الحدث، للذهاب من مكان إلى مكان. (ولا معلومة من التي يعالجها الثقب الأسود ستعود خارج أفق الحدث، جاعلة القراءة مستحيلة، لكن هذا لا يوقف كمبيوتر الثقب الأسود عن أداء مهمته، لأنك تستطيع إرسال المعلومات بحُرية من نقطة إلى نقطة على سطح أفق الحدث).

عندما قام لويد بالحسابات، فوجئ عندما اكتشف أن الوقت الذي تستغرقه أجزاء من ثقب أسود وزنه كيلوجرام لإرسال المعلومات إلى أجزاء أخرى من الثقب الأسود يماثل بالضبط ما يستغرقه تقليب بتة بما قدره كيلوجرام من كتلة ـ طاقة. لا يضيع وقت، في تقليب البتة ولا يضيع في الاتصال، فالعمليتان تأخذان مقدار الوقت نفسه. ربما ليس مصادفة أن هذين الشيئين المختلفين لهما القيمة نفسها. ربّما الثقب الأسود في حقيقتة كمبيوتر قصوي، المعالج القصوي للمعلومات. وإذا كان الأمر كذلك، فسيكون تأكيدًا مدوّيًا على أن المعلومات هي الطريق لسبر غور الثقب الأسود. المعلومات هي السيميا. وربما تكشف حتّى عن وجود أكوان مخفية.

الفصل التاسع

الكون

انظر، فالكائنات البشرية تعيش في وكرٍ تحت الأرض، له مدخل يُفتح باتجاه الضوء ويصل على طول الوكر، إنهم هنا منذ طفولتهم، سيقانهم وأعناقهم مقيّدة بسلاسل فلا يستطيعون التحرّك، يمكنهم فقط رؤية ما أمامهم، إذ تمنعهم السلاسل من إدارة رؤوسهم. من فوقهم ومن خلفهم تتقد نار على مبعدة منهم، بين النار وهؤلاء السجناء يوجد طريق مرتفع، وسترى إذا نظرت، جدارًا منخفضًا بُني على طول الطريق، كشاشةٍ يقف أمامها محرّكو الدُّمَى، ويَعرضون عليها عرائسَهم

لقد أريتني صورة غريبة، وهم سجناء غريبون مثلما نحن.. فبالنسبة لهم، ربما كانت الحقيقة حرفيّا لا شيء سوى الظلال.

ـ أفلاطون، الجمهورية

يسير الكون بالمعلومات. وتقوم الطبيعة باستمرار بعمل القياسات وبجمع المعلومات على أصغر مقاييس، وتنثر تلك المعلومات في البيئة. فبينما تولد النجوم وتلمع وتموت، فإن معلوماتها تتبعثر في أرجاء المجرّة، وبينما تلتهم الثقوب السوداء كلّ المادّة والطاقة التي تضلّ طريقها بالقرب منها، فإنها تلتهم المعلومات ـ ربما، وبمعنى ما يصبح الكمبيوتر القصوي.

لكن صورتنا عن الكون ليست كاملة بعد، ليست ذات نظرة شاملة. فالعلماء لا يفهمون تركيب الكون على المستوى الفلسفي أو المادّي. إنهم لا يعرفون إذا ما كنا الكون الوحيد أو أن هناك أكوانًا أخرى لا يمكننا الوصول إليها. إنهم لا يعرفون الآلية التي تجعل ميكانيكا الكم غريبة جدًّا، ولا يعرفون حقيقة كيف يمكن لجسيمين متشابكين أن يتآمرا معا برغم نقص تبادل المعلومات بينهما. إنهم لا يعرفون تركيب الفضاء على أصغر مقاييس، ولا يعرفون طبيعة الكون على المقاييس الأكبر.

وحتّى الآن، فإن نظرية المعلومات لا تمدّنا بالإجابة على تلك الأسئلة، لكنّها تعطينا مفاتيح لحلّها جميعًا. فنظرية المعلومات لا تمدّنا فقط بلمحة عن منطقة في الفضاء لا تبلغها التجربة ـ داخل الثقب الأسود ـ بل توضح بنية الفضاء والزمن. وأثناء تلك العملية، تفترض ضمنًا وجود أكوان كاملة موازية لكوننا، غير مرئية ولن يمكن رؤيتها. وحتّى مع أن تلك الأكوان الموازية تزيد من سذاجة مؤيّديها إلا أنها تفسر التناقضات الظاهرية الكبيرة في ميكانيكا الكم. فتكشف الأكوان الموازية كيفية عمل تطابق التراكب، وكيف «يتصل» جسيمان مشتركان بعضهما ببعض فورًا عبر المسافات الشاسعة. وتصبح ألغاز ميكانيكا الكم أقل غموضًا بمجرد أن تقتنع بأن المعلومات تخلق تركيب الفضاء والزمن.

إنها فكرة مشوشة. فحدود نظرية المعرفة تعطينا صورة مزعجة جدًّا جدًّا عن كوننا، وعن مصير الحياة النهائي في الكون.

الثقوب السوداء هي، بطرق مختلفة، أكوان منكفئة على نفسها. تذكر ذلك المسبار الذي أرسلناه إلى داخل الثقب الأسود في الفصل الثامن؟ ماذا لو وجد حياة؟ إذا كان هناك نوعٌ من المخلوقات قادرة على خلق موطن لها داخل أفق الحدث، فإنها ستكون قادرة على أن ترى كلّ النجوم والمجرّات في

السماء من فوقها. وربّما كانت أيضًا على دراية بالكوكب الأزرق الصغير الذي نعيش عليه. مع ذلك، وبصرف النظر عن الصعوبة التي تجابهها، فلن تستطيع تلك المخلوقات أبدًا إرسال رسالة لنا. مهما كانت المعلومات التي تحاول إرسالها، مهما كانت الرسالة التي تحاول أن تبعثها لنا بالأشعّة، فإنها لن تعبر أفق الحدث أبدًا. إن قوّة جذب الثقب الأسود قوية جدًّا. حتّى لو كان هناك عدد ضخم من تلك المخلوقات يحومون حول الثقب الأسود، ويصرخون ويرسلون إشارات صاخبة بأعلى ما يمكنهم، فإن الأرض لن تستقبل أية بتة واحدة أو كيوبتة من المعلومات عنهم. وببساطة يتعذّر وصول معلوماتهم إلينا. فكلّ ما نعرفه أن هناك كونًا كاملًا من الأشياء يكمن خلف أفق حدث الثقب الأسود، كونًا لا ندركه لأننا غير قادرين على جمع المعلومات عنه.

بالطبع، هذا محض تخمين افتراضي. فمن المستبعد أن يكون هناك مخلوقات في الثقب الأسود أو أكوان أخرى على الجانب الآخر من أفق الحدث. إلا أن أفق الحدث يبين أنه من الممكن أن يوجد هناك أشياء حقيقية وليست في الواقع جزءًا من كوننا. ربّما تكون هناك نجوم ومجرات ومخلوقات معزولة عنّا بنوع من الحواجز التي تعوق المعلومات، ربّما هناك أشياء في كوننا ترشدنا إلى وجود مفصول كلّيا عنّا. إنه من المستحيل، حتّى في النظرية، أن ندير حوارًا بيننا وبين مخلوقات في مثل هذا المكان. بمعنى ما، إذا أقمت حاجزًا للمعلومات بين منطقتين في الفضاء فلن يمكنهما الاتصال ببعضهما، ويصبح الاثنان كونين مختلفين بالأساس.

إنها فكرة غريبة. وعلى كلّ حال فإن الكون، بالتعريف، يحتوي كلّ شيء في...، حسنًا في الكون. لكن العلماء بدءوا يضعون في اعتبارهم فكرة أن هناك أكوانًا بديلة ومفصولة عن كوننا. في الحقيقة، فإن عددًا معتبرًا من علماء الفيزياء يأخذون الفكرة بجدية. حتّى إن بعضهم يعتقد بوجوب وجود الأكوان البديلة، ربما كانت تلك نتيجة لا مفر منها لقوانين المعلومات وفيزياء الثقوب السوداء.

الخطوة الأولى على الطريق إلى الأكوان البديلة ستأتي ممّا يحدث للمعلومات في الثقوب السوداء. في الفصل السابق، رأينا أن المعلومات التي يبتلعها الثقب الأسود يبدو أنها ترتبط بمساحة سطح أفق حدث الثقب الأسود. وكلّما التهم المزيد والمزيد من المادّة والطاقة المزيد والمزيد من المعلومات، زادت مساحة سطح أفق الحدث. في الواقع، انتروبيا الثقب الأسود تتناسب مع مساحة سطح أفق حدثه، وللدقة مساحة سطح أفق الحدث مقسومة على 4. لا يهم إذا كان الثقب الأسود كرويًّا تمامًا (وهكذا يستوعب أقصى كمية ممكنة من الحجم) أو مفلطحًا بعض الشيء بسبب غزله (وهكذا يستوعب حجمًا أقل) فالمعلومات التي تحتويها الثقوب السوداء ـ إذا كانت المعلومات تحفظ حقًّا ـ هي نفسها إذا كانت مساحات سطح أفق حدثها متماثلة.

هذا هو الاعتقاد الذي لا خلاف عليه تمامًا الآن. فمعظم العلماء يقبلون أن تتكلّم عن معلومات الثقب الأسود، وأن تلك المعلومات تتناسب مع أفق الحدث. لكن لهذا الاعتقاد نتيجة غريبة جدًّا جدًّا عندما يبتلع الثقب الأسود المعلومات. وتأتي الغرابة من الاختلاف بين حجم الشيء ومساحته. فعندما ترفع شيئًا ثقيلًا، مثل قالب من الرصاص، فأنت تقوم بقياس تقريبي لكمية المادّة التي في القالب. كلّما كان الشيء أثقل، زادت كتلة القالب، كمية «المادّة» في القالب. وكتلة القالب بدورها مرتبطة بحجمها. قد تزيد من مساحة سطح قطعة الرصاص ـ ربما تدقّها لتصبح مسطحة ـ أو قد تنقص مساحة سطح القطعة ـ ربما تشكلّها لتأخذ شكل الكرة ـ لكن الكتلة تبقى كما هي لأن حجم القطعة لا يتغيّر. إنه الحجم، وليس مساحة السطح، هو المعيار لكمية المادّة في الشيء. إذا كنت تخزن

المعلومات (أو المعلومات الكمية) في قطعة من المادّة، فعليك توقع أنها تتناسب مع كمية المادّة في تلك القطعة، عليك توقع أنها تتناسب مع حجم المادّة وليس مساحة سطحها.

لكن مع الثقب الأسود، فالوضع عكس ما يمكنك توقّعه تمامًا. إنه كما لو أن المعلومات في الثقب الأسود «تعيش» على مساحة سطح أفق الحدث أكثر من الحجم الذي يشمله أفق الحدث. كمية المادّة في الثقب الأسود تتناسب مع مساحة سطحه، وليس حجمه. هذا غريب تمامًا. سطح أفق الحدث حقيقة ثنائي الأبعاد، مثل السطح الخارجي لكرة مجوفة جدارها رقيق بشكل لا نهائي. إنه في الحقيقة ليس شيئًا ثلاثي الأبعاد مثل كرة مصمتة. وهذا يعني أن كلّ المعلومات في الثقب الأسود تبقى في بُعدين أكثر ممّا تبقى في ثلاثة(********). إنه كما لو أن المعلومات تتجاهل تمامًا واحدًا من أبعادنا الأربعة. وبمعنى ما، المعلومات مثل التصوير التجسيمي hologram.

التصوير التجسيمي هو نوع خاصّ من الصورة قد يكون مألوفًا لديك بالفعل. فمعظم كروت الفيزا والماستركارد والكروت الائتمانية بها هذا النوع من التصوير كأحد أمارات التأمين. إنها صورة مميزة تبدو طافية فوق رقاقة معدنية على واجهة الكارت. ليس من السهل رؤيتها مع التصوير التجسيمي الرخيص قليل الجودة مثل التي على كروت الائتمان، لكن إذا نظرت بعناية إلى الصورة، ربما ستلاحظ أنها تظهر ثلاثية الأبعاد. فهي تبدو كأنها طافية في الفضاء.

التصوير التجسيمي يستغل الخصائص الموجية للضوء لعمل نوع خاص من الصورة ـ ثلاثية الأبعاد ـ للشيء. مع أن التصوير التجسيمي يخزن على طبقة سفلية ثنائية الأبعاد مثل قطعة مسطحة من فيلم أو رقاقة معدنية. فإن التصوير التجسيمي يشفر كلّ المعلومات ثلاثية الأبعاد عن الشيء الذي يصوّره. وفي حالة تصوير تجسيمي عالي الجودة، مثل الذي تراه في عدد من المتاحف العلمية، فإن القطعة المسطحة من الفيلم تنتج فعليًّا صورة حقيقية ثلاثية الأبعاد لزوج من النرد أو جمجمة أو أي شيء آخر. إذا تجوّلت حول التصوير التجسيمي سترى أوجه النرد المختلفة أو عظام الجمجمة المختلفة، وهو ما يكون مستحيلًا مع الصورة العادية ثنائية الأبعاد. ففي التصوير التجسيمي، كلّ المعلومات ثلاثية الأبعاد عن الشيء يمكن تخزينها على قطعة من فيلم ثنائية الأبعاد.

الثقب الأسود، مثل التصوير التجسيمي، يبدو أنه يسجل القيمة ثلاثية الأبعاد للمعلومات ـ كلّ المادّة (ثلاثية الأبعاد) التي سقطت في أفق الحدث سابقًا ـ على وسط ثنائي الأبعاد، على مساحة سطح أفق حدث الثقب الأسود. في عام 1993، افترض عالم الفيزياء الألماني جيرارد هوفت Gerardus’t Hooft ـ الذي نال جائزة نوبل عام 1999 على عمل مختلف ـ ما يعرف الآن بمبدأ التصوير التجسيمي holographic principle، والذي لأسباب نظرية رصينة تمامًا، يوسع من فيزياء الثقب الأسود لتشمل مجمل الكون. إذا كان المبدأ صحيحًا فربما نكون نحن صورًا تجسيمية، ربما نكون مخلوقات ثنائية الأبعاد تعمل وحسب تحت وهم أنها ثلاثية الأبعاد(********). إنها احتمالية فريدة، لكن لا أحد يعرف إذا ما كان مبدأ التصوير التجسيمي صحيحًا أم لا. ومع ذلك حتّى لو لم يكن، فإن نظرية المعلومات لديها مفاجأة أخرى في الجعبة.

على أرضية أصلب من مبدأ التصوير التجسيمي فإن قطعة بحجم محدود من المادّة يمكنها تخزين كمية محدودة من المعلومات. الثقب الأسود الذي هو بعد كلّ شيء أكثف قطعة من المادّة ـ وفي التجريد، الآلة المثالية لمعالجة المعلومات، كما أوضح سيث لويد ـ لديها محتوى من المعلومات

يتناسب مع مساحة سطح أفق الحدث. لذا طالما أن كتلة الثقب الأسود محدودة، فإن أفق الحدث محدود. وإذا كان أفق الحدث محدودًا فإن كمية المعلومات التي يمكن أن يحتوي عليها محدودة، وستتناسب مع مساحة سطح أفق الحدث المحيط بها.

في عام 1995، برهن عالم الفيزياء ليونارد سسكيندLeonard Susskind على أن هذا حقيقي ليس فقط بالنسبة للثقوب السوداء لكن لكلّ المادّة والطاقة، مهما كان شكلها. إذا أخذت قطعة كبيرة من المادّة والطاقة وأحطتها بكرة تخيلية لها مساحة سطح «أ». فإن كمية المعلومات التي يمكن أن تخزنها المادّة والطاقة هي غالبا «أ\4» بالوحدات المناسبة. ويعرف هذا بحدّ التصوير التجسيمي، وهو نتيجة لقوانين المعلومات والديناميكا الحرارية.

طبقا لحدّ التصوير التجسيمي، فحتّى قطعة صغيرة من المادّة يمكنها نظريًّا أن تخزن كمية فلكية من المعلومات. (كمّية صغيرة من المادّة عرضها سنتيمتر يمكن نظريًّا أن تخزن 6610 بتة من المعلومات، إنه رقم ضخم يحير العقل ويعادل تقريبًا عدد الذرات في المجرّة). مع ذلك، فهذا الرقم محدود، وليس بلا نهاية. إذا كان يمكنك أن تحتوي قسمًا من الكون بكرة ذات مساحة سطح محدودة، فإنها فقط ستتسع لكمية محدودة من المعلومات، حتّى عندما تكون الكرة هائلة بشكل مطلق. هذا على أرضية نظرية صلبة ـ عليك قبولها إذا قبلت أنّ القانون الثاني للديناميكيا الحرارية ينطبق على الثقوب السوداء ـ لكنّه سيؤدّي إلى استخلاصات عجيبة.

المعلومات مادّية. إنها ليست تجريدًا يستقرّ بأعجوبة على ذرّة أو إلكترون، المعلومات يجب أن تخزن على هذا الشيء والمعلومات يجب أن تعبر عن نفسها ببعض الطرق المادية. يمكنك تخزين الكيوبتة على ذرة بمعالجة غزل تلك الذرّة أو موضعها، أو بعض السمات الفيزيائية الأخرى لها، وكلّ كيوبتة تقوم بتخزينها يجب أن تنعكس على مجمل الخصائص ـ على الحالة الكمية ـ للذرة. هذه ليست أخبارًا جديدة عليك، فقد استكشفنا من مثال قطة شرودنجر، العلاقة بين الحالة الكمية للشيء والمعلومات التي تمثلها تلك الحالة الكمية. لكن العلماء يجادلون بأنه إذا كان هناك كمية محدودة من المعلومات على قطعة معينة من المادّة، فإن أيّ شيء مصنوع من المادّة يجب أن يكون في واحد من العدد المحدود للحالات الكمية الممكنة. بكلمات أخرى، الشيء يمكنه فقط أن يكون لديه واحد من الأعداد المحدودة للدالات الموجية الكمية، حيث تقوم الدالة الموجية بتشفير كلّ المعلومات عن الشيء، سواء يمكن الوصول إليها أو يتعذّر ذلك. لذا، إذا تخيّلت كرة بمساحة سطح محددة، فإن الباحثين يؤكّدون أن هناك فقط عددًا محدودًا من الطرق التي يمكن بها ترتيب المادّة والطاقة في داخلها.

من الأسهل رؤية ذلك إذا أعدنا النظر في تحليلنا السابق للثقوب السوداء. حيث إن مساحة سطح أفق حدث الثقب الأسود تمثل المعلومات التي ابتلعها الثقب الأسود. فماذا تمثل تلك المعلومات بدقة؟ حسنًا، بمجرد أن تلقي مادة إلى داخل ثقب أسود، ستفقد كلّ المعلومات عن نوع المادّة، لا تعرف إذا ما كانت ذرات أو نيوترونات أو عربات فورد بينتوز Ford Pintos والأقل من ذلك إذا ما كانت العربات مطلية بالأحمر أو بالأزرق. أو إذا ما كانت الذرات تغزل لأعلى أو لأسفل أو كليهما في الوقت نفسه. بكلّمات أخرى، أنت تفقد كلّ المعلومات عن طبيعة المادّة التي ألقيتها في الثقب الأسود، أنت تفقد كلّ المعلومات عن الحالات الكمية للمادّة. لكن المعلومات التي تفقدها، تكون مخزنة بالثقب الأسود ـ إذا كانت المعلومات تحفظ حقًّا ـ وستؤدّي إلى زيادة مساحة أفق

الحدث. لذا، فالمعلومات على أفق الحدث تعادل المعلومات عن الحالات الكمية للمادّة التي ألقيتها في الثقب الأسود. إن المعلومات والحالات الكمية والمساحة، الثلاثة مترابطون.

كلّ شيء جيد حتّى الآن، فضمن كرة محدودة، هناك فقط عددٌ محدودٌ من الطرق التي يمكن بها ترتيب المادّة بداخلها. لكن الأشياء تبدأ السخف بصراحة عندما تبدأ في النظر حقيقة إلى كرات كبيرة، كبيرة بحجم الكون المرئي. عمر الكون حوالي 13.7 مليار سنة فقط، وقد بدأ الضوء في التدفق بحرية في أرجائه بعد أقل من 400,000 سنة من الانفجار الكبير. هذا الضوء هو أقدم ضوء يمكننا رؤيته. إنه حافة الكون المرئي، أي شيء وراء ذلك غير مرئى. ولأن المعلومات لا تسافر بأسرع من سرعة الضوء، فإذا رسمت كرة هائلة (لكن محدودة) غير مرئية، حول الأرض نصف قطرها عشرات المليارات من السنوات الضوئية، فإنها ستطوق كلّ الكون الذي كان قادرًا على إرسال المعلومات لنا منذ اللحظة التي تحرّر فيها الضوء(********). وبالعكس، كلّ شيء من المحتمل أن يكون قد استقبل معلومات عن الأرض منذ ذلك الوقت سيكون متضمنًا داخل تلك الكرة. بكلمات أخرى، كلّ عنصر في الكون يمكنه أن يتبادل معنا المعلومات منذ تلك الحقبة بعد 400,000 سنة من الانفجار الكبير سيكون مطوقا داخل كرة هائلة لكنّها محدودة. ولغرض الإيجاز، دعنا نسمي تلك الكرة فقاعة هابل Hubble bubble الخاصة بنا.

محتمل أن يكون هناك الكثير بالنسبة للكون أكثر من فقاعة هابل الخاصة تلك. العلماء متأكّدون غالبًا من أن هناك الكثير بالنسبة للكون ممّا هو مرئى، أكثر ممّا هو متضمّن في تلك الكرة العملاقة. في الواقع، يفكّر معظم علماء الكونيات في أن الكون كبير بشكلّ لانهائي. في هذه اللحظة، يعتقد العلماء أن كوننا لا نهائي الحجم ـ ليس له حدود ـ وليس له الشكلّ غير التقليدى الذي يلتفّ حول نفسه، كما يقترح قليل من العلماء بشكل غير مقنع. إذا أخذت سفينة صاروخية وسافرت في اتجاه واحد لسنوات ولسنوات ولسنوات، فلن تذهب أبدًا عبر الحدّ الذي لا يمكن عبوره ولن تعود أبدًا لزيارة المكان الذي انطلقت منه.

علماء الفيزياء لايستخدمون المصطلح «لانهائي» بخفّة، لكنّهم انتهوا إلى استخلاص أن الكون لا نهائي لعدّة أسباب. أحدها أن علماء الفلك حاولوا رؤية السمات المميزة للكون المحدود وفشلوا. على سبيل المثال، عندما نظر علماء الكونيات للأشعّة الكونية القديمة منذ 400,000 سنة بعد الانفجار الكبير، رأوا أن نقص أنماط تلك الأشعّة يتضمّن أن كوننا نصف قطره لا يقلّ عن 40 مليار سنة ضوئية، إلا أنه لا توجد أي علامة على وجود حدّ للكون. ومع أن هذا جزء واحد من الأدلة على أن الكون لا نهائي، فليس هو ما يجعل علماء الفيزياء يفكّرون أن الكون لا نهائي. الحافز الحقيقي لكون لا نهاية له أبدًا هو نظرية التضخُّم theory of inflation.

التضخُّم هو نظرية ناجحة جدًّا في علم الكونيات تصف الكون في الأجزاء القليلة من الثانية بعد الانفجار الكبير. والتي يبدو أنها تتضمّن أن الكون لا نهائي الحجم(********). بالطبع، نظرية التضخم ممكن أن تكون خطأ عند بعض المستويات (بالرغم من أنه يبدو أنها تعمل). وبشكل بديل، نظرية التضخم قد تكون صحيحة كلّيا. إلا أن التأويلات التي تؤدّي إلى كون لا نهائي ربّما ظلّت خاطئة (حتّى لو أشارت الرياضيات إلى هذا الاتجاه). لكن في اللحظة الحالية، فإن معظم علماء الكونيات يعتبرون أن الكون كبير بشكلّ لا نهائي، وبضم ذلك مع تقييد التصوير التجسيمي، فإن هذا سيعنى مشكلة كبيرة.

إذا كان الكون لا نهائيًا، فإن فقاعة هابل الخاصة بنا، المحدودة في مداها، واحدة من الكرات العديدة والعديدة غير المتشابكة التي يمكنك رسمها في الكون: الكون يمكن أن يكون فيه عدد هائل من فقاعات هابل المستقلّة. في الواقع، لأن فقاعة هابل الخاصة بنا محدودة في كون لا نهائي، سيمكنك إفساح المجال لعدد لا نهائي من فقاعات هابل المستقلة في الكون. الآن، الخلاصة النظرية للمعلومات: كلّ من تلك الكرات له مساحة سطح محدودة، لذا فكلّ واحدة لها عدد محدود من المعلومات، عدد محدود من الحالات الكمية، وعدد محدود من طرق ترتيب المادّة والطاقة داخل كلّ فقاعة هابل. هناك فقط عدد محدود من الدالات الموجية التي يمكن أن تتخذها المادّة الخام داخل فقاعة هابل.

الدالة الموجية تمسك بكلّ جزء من المعلومات عن كلّ المادّة الخام ـ كلّ المادّة والطاقة ـ في فقاعة هابل الخاصة بنا. سواء كنا مدركين لها أم لا. إنها تشفّر موضع وكمية حركة كلّ ذرّة في فقاعة هابل تلك، مثل أيّ شيء آخر يمكن توقّع تخيّله عن فقاعة هابل الخاصّة بنا. ويشفّر بداخلها كلّ موضع ولون لمصباح ضوء في سيرك بيكاديللي، وسرعة كلّ سمكة في البحر، ومحتوى كلّ كتاب موجود على الأرض. إن دالّة موجة فقاعة هابل الخاصة بنا تشتمل حتّى على دالّتك الموجية، إنها تشفّر كلّ مقدار صغير من المعلومات عنك، حتّى الحالات الكمية لكلّ ذرّة في جسمك. مع أن هذه كمية مهولة من المعلومات بشكل لا يصدق، فإن دالّة موجة فقاعة هابل الخاصّة بنا تحتوى كلّ شيء عن كوننا المرئي. ويمكننا لدواعي التبسيط، أن نسمّيها الدالة الموجية #135.

هناك فقط عدد محدود من الدالات الموجية لحجم فقاعة هابل. هناك عدد هائل لا يصدق أبدًا من احتمالات الدالة الموجية نسمّيها (كيرجيليون kergillion)، لكنّه عدد نهائي مع ذلك. لذا فإن دالتنا الموجية تعتبر واحدة من الكيرجيليون دالّة موجية الممكنة. وبخلاف حقيقة أنها دالتنا الموجية، فمن المحتمل ألا يكون هناك شيء خاصّ مميزٌ عنها. من المحتمل أنه ليس أكثر من كونه مرجحًا أو غير مرجح من الكيرجيليون دالة موجية المحتملة(********).

لكن لنتذكّر، فهناك عدد لانهائي من فقاعات هابل تلك في كون لا نهائي. اللانهاية أكثر من كيرجيليون، حتّى أكثر من كيرجيليون زائد واحد. وبمجرد أن نصل إلى كيرجيليون زائد فقاعة هابل واحدة، فإن شيئًا لا يصدق يجب أن يحدث. هناك فقط كيرجيليون دالّة موجية محتملة يمكن أن تكون عليها فقاعة هابل، لذا ففي تشكيلة من كيرجيليون زائد فقاعة هابل واحدة، يجب أن يكون هناك على الأقل نسخة مكرّرة! يجب أن يكون لفقاعتي هابل الدالة الموجية نفسها بالضبط. كلّ ذرة، كلّ جسيم، كلّ كمية صغيرة من الطاقة، ستوجد في المكان نفسه بالضبط، ولها بالضبط كمية الحركة نفسها، ومتماثلة بالضبط في كلّ طريقة محتملة يمكنك تخيّلها، وحتّى بالأشكال التي لا يمكنك تخيلها.

لماذا نتوقّف عند كيرجيليون زائد فقاعة واحدة؟ فعند كيرجليون زائد فقاعتين هابل اثنتين، يجب أن يكون هناك نسختان. عند اثنين كيرجليون فقاعة هابل، سيوجد كيرجليون نسخة: في المتوسط، سيوجد نسختان لكلّ دالة موجية محتملة. عند مليون كيرجليون فقاعة هابل، سيكون هناك في المتوسط، مليون نسخة لكلّ دالة موجية. بما فيها الدالة الموجية #135 الخاصة بنا.

إذا لم يوجد شيء خاص بشكل مميز عن دالتنا الموجية، إذن ففي حجم يحتوي مليون كيرجيليون فقاعة هابل، سيكون هناك حوالي مليون نسخة متماثلة لكوننا. هناك مليون نسخة من فقاعة هابل

المتماثلة نزولًا حتّى موضع ولون كلّ مصباح ضوء في سيرك بيكاديللي، وسرعة كلّ سمكة في البحر، ومحتوى كلّ كتاب موجود على الأرض، كلّ من فقاعات هابل تلك ستحتوي حتّى نسخة متشابهة من دالّتك الموجية، نزولًا حتّى الحالات الكمية لكلّ ذرّة في جسمك. هناك مليون نسخة منك، متشابهة في كلّ التفاصيل. في الحقيقة، هذه الملايين من الأطياف تقرأ نسخة طيفية من هذا الكتاب وتنهي هذه الفقرة مثلك، الآن... وفورًا.

في الواقع، إذا كان الكون لانهائيا، فإن علماء الفيزياء يقدرون أن فقاعة هابل المتماثلة يجب أن تبعد عنا حوالي (1010)115 مترا. بالطبع، لن يكون بمقدورك الاتصال بطيفك، حيث إنه أكثر بعدًا بشكل ضخم جدًّا عن حافة كوننا المرئي، لكن إذا كان الكون لانهائيا، فإن هذا الطيف سيكون هناك مع ذلك.

لكن انتظر، إنه يبدو عجيبًا، فالعدد المحدود للدالات الموجية سببه المعلومات المحدودة التي يمكن أن تخزن ضمن حجم معين، وهذا بدوره يتضمّن عددًا محدودًا من الترتيبات الممكنة للكتلة والطاقة. كلّ ترتيب للكتلة والطاقة والمعلومات ينسب إلى دالّة موجية، يعطي لكلّ منها رقمًا. وكلّ منها يحصى ضمن الكيرجليون احتمال. لذا، فتشكيلتنا من الكيرجليون دالة موجية تتضمن كلّ ترتيب ممكن للمادّة والطاقة مما يمكن أن تتخذه فقاعة هابل. وفي تشكيلتنا من المليون كيرجليون فقاعة هابل، في المتوسط، هناك مليون منها.

هل من الممكن أن يكون هناك كون مسكون بسلالة من الأخطبوطات فائقة الذكاء؟ يتعيّن وجود مليون منه. هل من الممكن أن يكون هناك كون يتّصل فيه كلّ واحد على الأرض بلغة معقّدة من الرقص النقري وغازات البطن flatulance؟ يتعيّن وجود مليون منه. هل من الممكن أن يكون هناك كون مشابه لكوننا فيما عدا حقيقة أنك تقرأ هذا الكتاب بلاتينية صعبة pig latin؟ يتعيّن وجود مليون منه. إذا كان الكون لانهائيا، فكلّ ترتيب يمكن تصوّره للمادّة في فقاعة هابل مما لا تحظره قوانين الفيزياء يجب أن يوجد في مكان ما. بمعنى ما، يجب أن يتكوّن كوننا من عدّة أكوان متوازية مستقلّة، يتخذ كلّ منها واحد من عدد الترتيبات المحدودة.

من بين كلّ الأشياء المجنونة التي حاولت أن أقنعك بها في هذا الكتاب، فإن هذا هو الأكثر جنونًا. أنا، نفسي، مررت بوقت صعب جدًّا جدًّا لكي أصدقه. أودّ أن أفكر بأن هناك خللًا في الافتراض في موضع ما، شيئًا ما أخطأت فيه الفيزياء أو تغاضت عنه، لكن المنطق يبدو محكمًا تمامًا. إذا كان الكون لانهائيا، وإذا كان تقييد التصوير التجسيمي صحيحًا، إذًا فمن الصعب الهروب من فكرة أن الكون مسكون بنسخ لا نهائية منك. والأسوأ من هذا، أن هناك أيضًا نسخ لا نهائية منك تؤكل بواسطة الوُمْبَتّ wombat ـ عملاق من آكلات اللحم الغريبة ـ والعكس بالعكس.

إذا ذهبت إلى عالم فيزياء في هذا المجال وسألته عن هذا، ربما سيتنحنح ويتلعثم ويتجنب الإجابة على السؤال. لكن عددًا لا بأس به من علماء الفيزياء غير المجانين سوف يقولون، بثقة تامة، إنهم يعتقدون أن النسخ المتشابهه أو الأقرب إلى التشابه منهم تحلق خارجًا في الكون، حتّى لو لم يؤمنوا بالحجة التي حددتها أعلاه. وهناك سبب مختلف جدًا لدى علماء الفيزياء للاعتقاد في وجود الأكوان الموازية. هذا أيضًا يحدث مع نظرية المعلومات وقوانين نظرية الكم. فالعلماء يبدأون في قبول نكهة مختلفة قليلا للكون الموازي ـ نكهة حيث تشكلّ المعلومات الكون تمامًا ـ وفي هذه العملية يقومون بحلّ مشاكل نظرية الكم.

في عام 1999، قام عدد من مائة عالم فيزياء تقريبًا بعمل اقتراع غير رسمي في مؤتمر عن الحوسبة الكمية. ثلاثون منهم قالوا إنهم يعتقدون في الأكوان الموازية أو شيء شبيه بذلك تمامًا. وحتّى مع عدم وجود دليل مباشر على وجود مثل تلك الأكوان، فإن هذا الاعتقاد هو في جزء كبير، نتيجة لألغاز نظرية الكم. فنظرية المعلومات تمنحنا قدرًا من تبصر تلك الألغاز، مثل كيف تتصرّف الأشياء الكمية، وبدراسة تبادل المعلومات ضمن الأشياء، الملاحظون، والبيئة، يتعلّم علماء الفيزياء عن قوانين العالم الكمى. لكن المعلومات غير كافية. أن شيئًا ما لا يزال مفقودًا، والنظرية الكمية غير كاملة.

رياضيات نظرية الكم قوية بشكل لا يصدق. إنها تصنع التنبؤات بأحكام لا يصدق، وتقوم بوظيفة رائعة لشرح كيف تتصرّف الجسيمات. ومع ذلك، فهذا الإطار الرياضي يتماشى كثيرًا مع النظريات الفلسفية البالية. رياضيات نظرية الكمّ تخبرك كيف تصف شيء بمصطلحات دالّته الموجية، لكنّها لا تخبرك ما تلك الدالة الموجية: هل هي شيء حقيقي، أم أنها تخيّل رياضي؟. فرياضيات نظرية الكم تصف تصرفات الشيء مع ظاهرة تطابق التراكب، لكنّها لا تفسر كيف يعمل تطابق التراكب أو كيف ينهار، ماذا يعني أن الشيء يكون في مكانين في الوقت نفسه، وكيف تختفي تلك الخاصية فجأة، رياضيات نظرية الكمّ تفسر الفعل الشبحي على بعد مسافة بين جسيمين متشابكين، لكنّها لا تشرح كيف يمكن لجسيمين متباعدين أن يتآمرا معًا بدون مرور المعلومات بينهما جيئة وذهابًا. إن رياضيات نظرية الكم واضحة جدًّا، لكنّ الواقع المادّي الذي تصفه نظرية الكم أبعد ما يكون عن الوضوح.

أيّ عالم يمكنه أن يجد طريقة للهرب بتجاهل الواقع. فإذا كانت الرياضيات تعمل وتتنبأ بالظاهرة الفيزيائية التي تدرسها، يمكنه أن يولي الانتباه فقط إلى ما تقوله تلك المعادلات بدون محاولة اكتشاف ماذا تعنيه بالضبط (حسب عبارة تنسب إلى ريتشارد فايمان Richard Feynman الحائز على جائزة نوبل، يمكن أن تسمّى هذا النمط «اخرس وقم بإجراء الحساب»). لكن معظم علماء الفيزياء مقتنعون بأن الأعداد التي يتعاملون معها هي انعكاس لواقع مادي حقيقي هناك. ومعظمهم يريدون أن يعرفوا ما هو الواقع المادّي الذي تمثله رياضياتهم. ليس كافيًا أن يكون هناك وصفٌ رياضيٌ لظاهرة، أنهم يريدون أن يعرفوا عن العمليات الفيزيائية التي تصفها معادلاتهم. إنهم يريدون أن يعرفوا كيف يفسرون إطارهم الرياضي. وها هنا تكمن المشاكل حقيقة.

مع أن التيار الرئيسي للعلماء يميل للموافقة على كلّ الاستخلاصات الرياضية لميكانيكا الكم، فإنهم في الحقيقة لا يوافقون على تفسير ماذا تعنيه تلك الاستخلاصات في الواقع. هناك عدد من مدارس التفكير، عدد من التفسيرات عن كيف أن رياضيات نظرية الكمّ تعكس الواقع المادّي. فكيف تقول ميكانيكا الكم - والتجربة - إن الشيء يمكنه التواجد في مكانين في وقت واحد، إلا أنه بمجرد أن نحاول ملاحظة تطابق التراكب، فإنه يجري تدميره؟ فماذا يحدث فيزيائيًّا؟

أحد التفسيرات، طريقة شرح كيفية تواجد الجسيمات يمكنها أن توجد في تطابق تراكب وكيف يمكن أن تتصل الجسيمات المتشابكة، تعتمد على المعلومات والأكوان الموازية لتفسير غرابة نظرية الكم. ومع ذلك، هذا ليس التفسير القياسي بعد لميكانيكا الكم. بل يذهب هذا الشرف إلى ما يعرف بتفسير كوبنهاجن Copenhagen interpretation. الذي ابتكر بواسطة بعض مؤسسي نظرية الكم في عشرينيات القرن الماضي، من ضمنهم مواطن كوبنهاجن نيلز بور Niels Bohr والألماني فيرنر هايزنبرج Werner Heisenberg، صاحب مبدأ عدم اليقين.

ويجيب تفسير كوبنهاجن على الأسئلة بإعطاء دور مميز للملاحظة. فالدالّة الموجية، لنقل، الإلكترون ما هي في الحقيقة قياسًا للاحتمالات التي سيوجد فيها الإلكترون في مكان معين. وطالما بقي الإلكترون غير ملاحظ، فإن تلك الدالّة الموجية تتطوّر بسلاسة. مثل السائل، يمكنه أن ينتشر متوزعًا ومتدفقًا في عدّة مناطق مختلفة في الوقت نفسه، يمكنه التطوّر إلى حالة تطابق تراكب. لكن بمجرد أن يقوم الملاحظ بالقياس ويحاول حساب أين ينهار الإلكترون! إنّ الدالة الموجية تتمزق فورًا، ترتعش وتنهار بشكل ما. إن ضربة الحظّ ستحدّد أين يوجد الإلكترون فعلًا في الفضاء، فالإلكترون سيختار موضعه بناء على احتمالية التوزيعات التي تصفها الدالة الموجية.

لعدّة سنوات، كان تفسير كوبنهاجن هو اللعبة الوحيدة في المدينة، لكن كانت هناك بعض الجوانب المزعجة له. أحدها أن فعل الملاحظة كان غير محدد التعريف، المشكلة التي كانت مسئولة بشكل كبير عن متاعب قطة شرودنجر. لم يعالج تفسير كوبنهاجن حقيقة معنى الملاحظة. فالملاحظات مالت لأن يعبر عنها بمصطلحات الكائن الواعى الذي يقوم بالقياس، لكن هل يحتاج الملاحظ لأن يكون واعيًا حقيقة؟ هل يمكن للأداة العلمية أن تتسبب في انهيار دالة الموجة؟ أم أن الأداة تحتاج لأن يراها عالم واعٍ قبل حدوث الانهيار؟ ترك تفسير كوبنهاجن هذا الأمر مفتوحًا، كما فعل مع السؤال عن كيف بالضبط تحدث عملية الانهيار. إنه لم يجب لا عن متى ولا عن كيف يحدث انهيار دالّة الموجة. ولا أجاب حقيقة عما إذا كانت الدالّة الموجية، عند مستوى ما، شيئًا ماديًّا أم إذا ما كانت خيالًا رياضيًا ليس له نظير ماديّ حقيقيّ. مع أن دالّة الموجة تقول ذلك، هل الإلكترون يوجد حقيقة في مكانين أم لا؟ فإنّ تفسير كوبنهاجين لا يخبرك. وبسبب الأسئلة الهائلة التي تركها تفسير كوبنهاجن بلا إجابة، فيمكنك أن ترى عالمين فيزيائيين يزعم كلاهما الاعتقاد في تفسير كوبنهاجن، إلا أن لديهما نظرتين مختلفتين جدًّا عن طبيعة الواقع. ربّما يفكر أحدهما أن دالّة الموجة حقيقة والإلكترونات يمكنها التواجد في مكانين في الوقت نفسه فعلًا، بينما لا يعتقد الآخر في ذلك. وأقل ما يقال، إنّ تلك الحالة غير مرضية جدًّا.

في خمسينيات القرن الماضي، افترض عدد من علماء الفيزياء تفسيرات أخرى لمعالجة مشاكل تفسير كوبنهاجن، ولهذا السبب، هناك عدد آخر من تفسيرات لميكانيكا الكم التي لها وجهات نظر مختلفة جدًّا. وتخلق جميعها مشاكل بقدر تلك التي تقوم بحلها، فهي تفترض دائمًا بعض الظواهر الجذرية التي لا تقل سخفا عن التصرفات العجيبة التي تحاول أن تفسرها. لكن إذا أردت الذهاب أبعد من «اخرس وقم بإجراء الحساب» وكان لديك بعض الفهم للواقع الفيزيائي، فسيكون عليك استخدام أحد تلك التفسيرات لمحاولة إعطاء معنى لما تقوله الرياضيات. وهذا الكتاب ليس استثناء، فهو ليس مستثنى من عيوب تلك التفاسير(********).

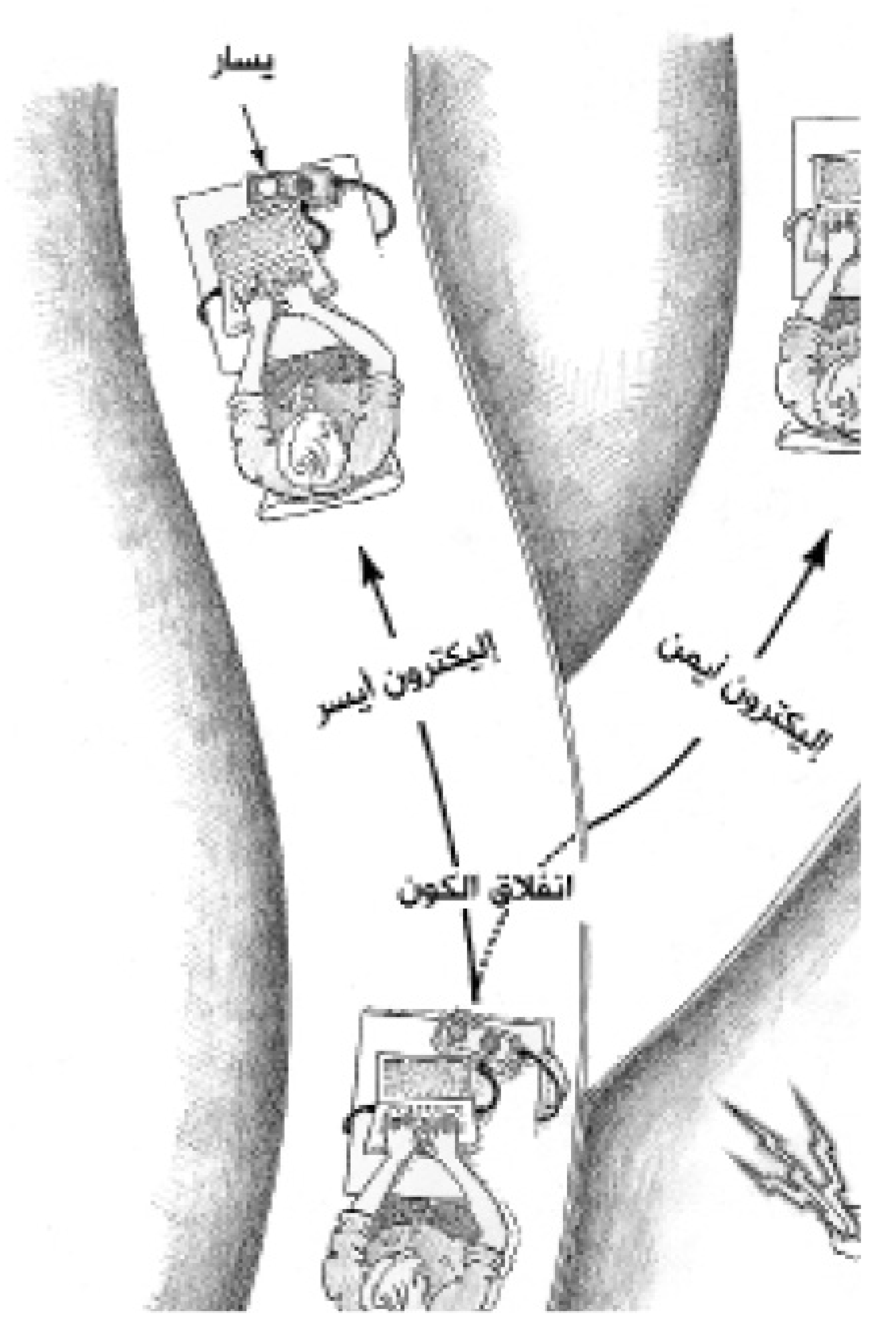
مع ذلك، فسريعًا ما أصبح أحد هذه التفسيرات هو المفضل لدى علماء الفيزياء. ومثل كل البدائل الأخرى لتفسير كوبنهاجن، فهو يحمل، ظاهرة جذرية ومضادة للحدس، كعبءٍ كبير معه. لكنّها ليست أكثر جذرية من استخلاص الفرض الذي عرضته سابقًا: هناك أكوان متوازية. إذا قبلت تلك الإمكانية، فستبدأ نظرية الكم في أن يكون لها معنى فيزيائي، وستصبح المعلومات جزءًا أساسيًّا من بنية الفضاء والزمن. ولد هذا الحلّ في 1957، عندما افترض الطالب هيوج إيفيرت Hugh Everett، خريج برينستون، بديلًا لتفسير كوبنهاجن الذي أصبح يعرف بتفسير العوالم المتعدّدة many worlds interpretation. وجوهر افتراض إيفيرت هو أن دالّة الموجة شيء حقيقي، وعندما يقول إن الإلكترون يوجد في مكانين في الوقت نفسه، فإنه حقيقة في مكانين في الوقت

نفسه. لكن على خلاف تنويعات ترجمة كوبنهاجن، لايوجد «انهيار» حقيقي لدالّة الموجة. فعندما تتسرّب المعلومات عن إلكترون في تطابق تراكب، عندما يقوم شخص ما بقياس الإلكترون سواء على اليسار أو على اليمين، فإن الإلكترون يختار... كليهما.إنه يهرب بتلك الطريقة العجيبة جدًّا، بتعديل تركيب الكون بمساعدة المعلومات.

لتصوّر ماذا يحدث في سيناريو العوالم المتعدّدة، سيساعدنا التفكير في كوننا على أنه صفحة sheet رقيقة وشفافة كشريط سنيمائي. والجسيم الذي في تطابق تراكب يستقرّ بسعادة على تلك الصفحة، ويتواجد بشكل متزامن في مكانين في الوقت نفسه، ربما خالقًا شكل تداخل. عندما يأتي الملاحظ ويجمع المعلومات عن الجسيم، فلنقل، بارتداد الفوتون عنه، سوف يرى الإلكترون في الموضع الأيمن أو الموضع الأيسر، وليس في كليهما في الوقت نفسه. ربما سيقول المؤيد لتفسير كوبنهاجن إن دالة الموجة تنهار عند تلك النقطة، الإلكترون «يختار» أن يكون على اليمين أو على اليسار. بينما المؤيّد لتفسير العوالم المتعدّدة، من جهة أخرى، ربّما يقول إن الكون ينفلق splits.

لو أن كائنًا شبه إلهي godlike being يشاهد التفاعل من خارج الكون، فربّما سيدرك فجأة أن الكون الشفاف celluloid universe، الذي يسكنه الإلكترون (والملاحظ) ليس صفحة واحدة، بل صفحتين ملتصقتين معًا. عندما تتسرّب معلومة عن موضع الإلكترون، فإنها حقيقة تنتج معلومة عن تركيب الكون، والمعلومة تبين أن الكون ثنائي. إذ يتخذ الإلكترون في أحد الكونين الموضع الأيمن وفي الكون الآخر فإنه يتّخذ الموضع الأيسر. وطالما بقيت الصفحتان ملتصقتين معًا، فسيصبح الأمر كما لو أن الإلكترونين على الصفحة نفسها، وسيوجد الإلكترون في مكانين في الوقت نفسه وسيتداخل مع نفسه. لكن فعل تجميع المعلومات عن موضع الإلكترون سيقشر الصفحتين بعضهما عن بعض ويوضح الطبيعة الحقيقية لكون متعدد الأوراق multifoliate، فالصفحتان تتباعدان بسبب نقل المعلومات.

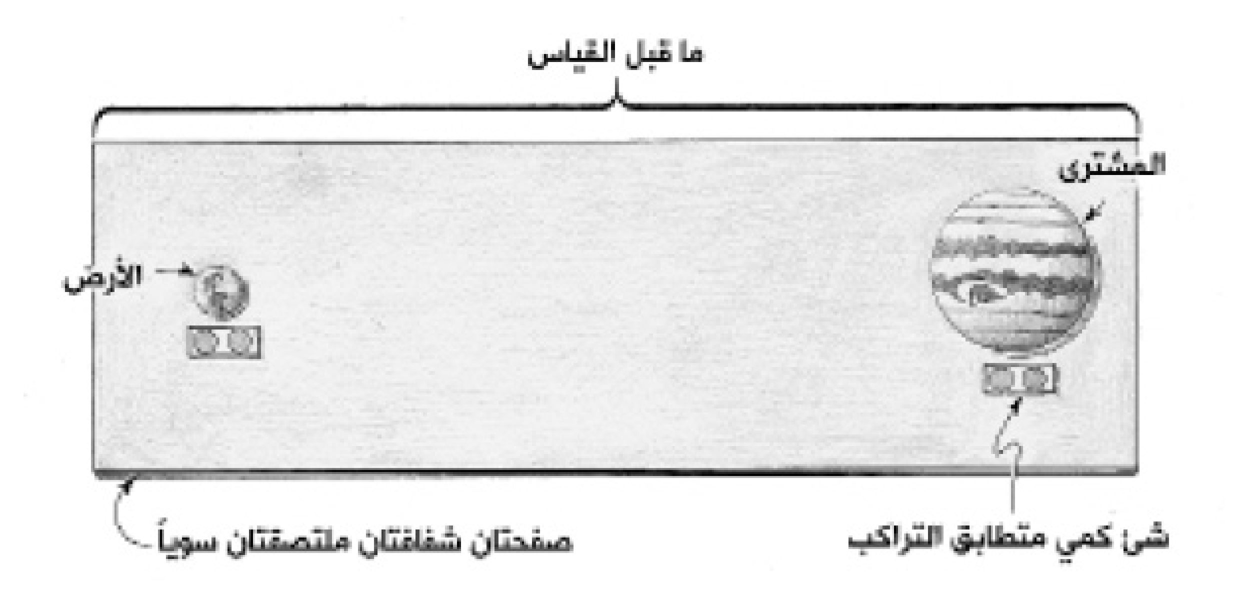
بينما سيتمكن الكائن شبه الإلهي من رؤية صفحتي الكون تنقسمان، فإن الملاحظ الذي يقوم بالقياس، المتضمّن أيضًا في هاتين الصفحتين، سيكون غير مدرك تمامًا لما يحدث. وكونه محبوسًا في الصفحة، فسينشق هذا الملاحظ أيضًا إلى اثنين، ملاحظ أيمن وملاحظ أيسر. الملاحظ الأيسر، سيرى على صفحته الجسيم على اليسار. الملاحظ الأيمن سيرى على صفحته الجسيم على اليمين. ولأنه لم تعد الصفحتان متصلتين فيما بينهما بصورة أكبر، فإن نسختي الجسيم ونسختي الملاحظ لم يعودا قادرين على التفاعل فيما بينهما. إنهما حاليًا يسكنان في كونين منفصلين. ومع أن الكائن شبه الإلهي سيكون قادرًا على رؤية هذا التركيب المعقّد متعدّد الأوراق لهذه الأكوان المتوازية، المتعدد الأكوان multiverse، فإن الملاحظ في ذلك الكون سوف يعتقد أنه ما زال يسكن في صفحة واحدة، غير مدرك تمامًا للكون البديل الذي يعطي قياسه محصّلة مضادّة. وبمجرد أن تنشق الورقتان إحداهما عن الأخرى، فسيكونان بالأساس غير قادرين على الاتصال، ولن يستطيعا تبادل المعلومات. كما لو أن هناك حائلًا بين الورقتين. بمعنى أن الاثنتين في كونين مختلفين، حتّى بالرغم من أنهما في متعدد الأكوان نفسه.

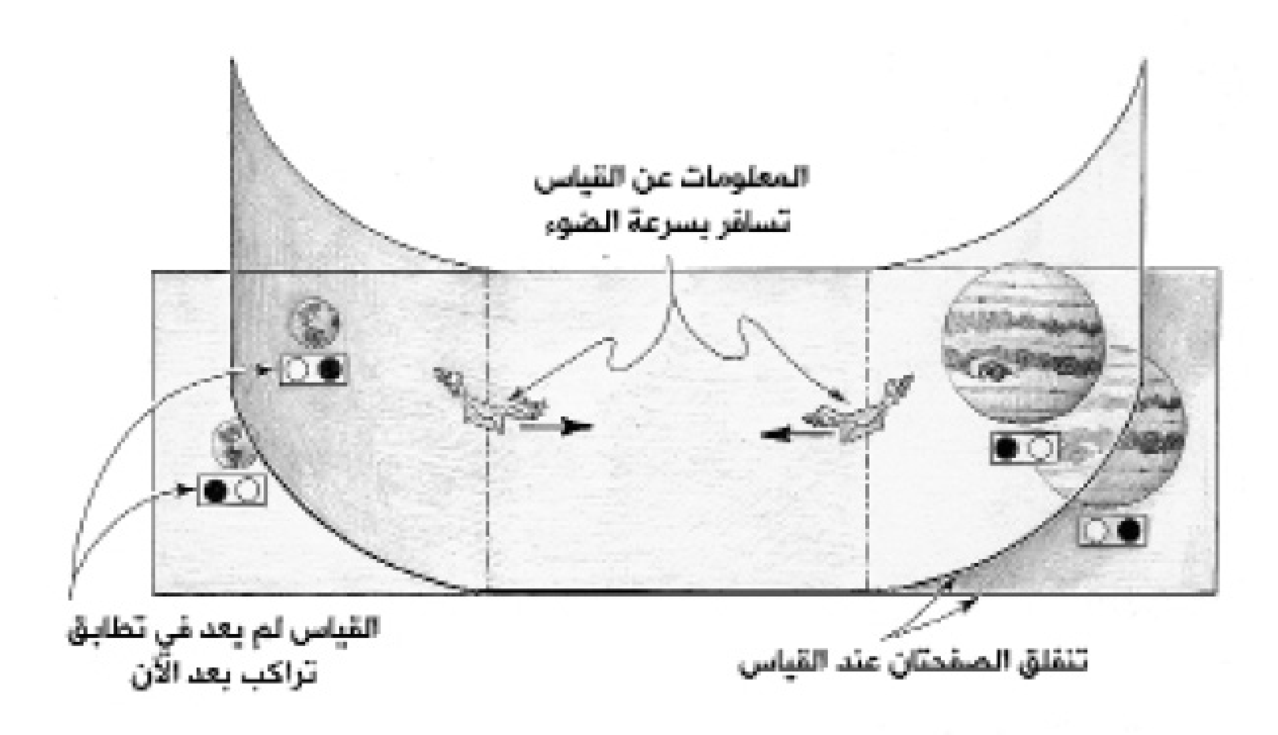


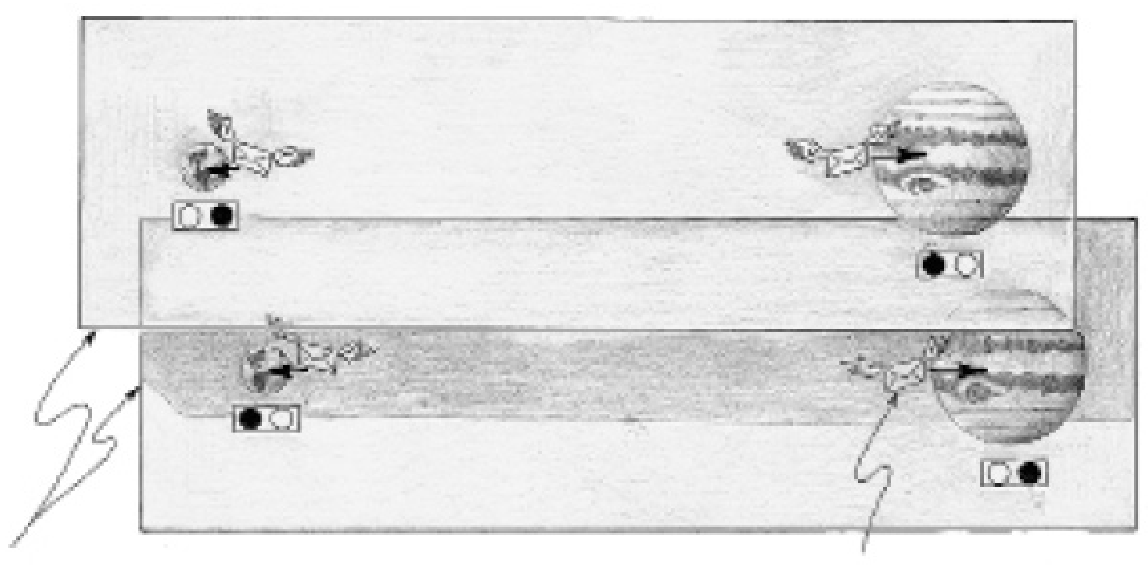
تطابق التراكب في متعدد الأكوان

هذه الفكرة ـ أن متعدّد الأكوان ينشقّ بسبب تبادل المعلومات ـ تعطينا أيضًا تفسيرًا لطيفًا للفعل الشبحي عن بعد. خذ زوجًا من جسيمات EPR، فلنقل بمصطلحات الموضع، متشابكة. إذا كان واحدًا على اليسار، فالآخر يجب أن يكون على اليمن، والعكس بالعكس. لكن إذا ابتكرت وجودهما في حالة تطابق تراكب، فلن «يختار» أي منهما إذا ما كان على اليسار أو اليمين إلى أن يجري فعل القياس، حتّى يقوم شيء ما (الطبيعة أو الملاحظ) بتجميع المعلومات عن كلّ جسيم.

خذ زوج EPR متشابك بهذه الطريقة وأرسل واحدًا باتجاه ملاحظ على الأرض وواحدًا باتجاه ملاحظ على المشتري. سيقوم كلّ ملاحظ بأخذ ملاحظته عندما يصل الجسيم، كلّ منهما سيجمع المعلومات عن حالة الجسيم، سيشق صفحة ـ العالم وكلّ ملاحظ ـ إلى اثنين، لكن الانشقاقات تكون موضعية. والكائن شبه الإلهي سيرى صفحة العالم تنقسم بالقرب من كلا الملاحظين، لكن ستظل الصفحتان ملتصقتين فيما بين الملاحظين. فقط عندما يرسل أحد الملاحظين (فلنقل، الملاحظ على الأرض) بتة من المعلومات إلى الآخر (الملاحظ على المشترى) ستبدأ الصفحتان بين الاثنين في الانشقاق إحداهما عن الأخرى. إن كمية المعلومات الصغيرة، التي تتحرّك بسرعة الضوء غالبًا، تشقّ الكون أثناء سفرها. وعندما تصل إلى المشترى فإنها تكمل الانفصال، تنفصل صفحتا العالم تمامًا. في إحدى الصفحتين المنفصلتين الآن، سيتم قياس الملاحظ على الأرض إلى اليسار والملاحظ على المشتري سيتم قياسه إلى اليمين، وفي الصفحة الأخرى سيحدث العكس. في كلتا الحالتين، سيبدو كما لو أن الجسيمين يتآمران فيما بينهما، حتّى بالرغم من أنه ولا معلومة يمكنها السفر بأسرع من سرعة الضوء، فإن الجسيمين يكونان دائمًا في موضعين متضادّين، واحد في اليسار والآخر في اليمين.


ما قبل القياس
المشترى
الأرض
صفحتان شفافتان ملتصقتان سوياً
شئ كمي متطابق التراكب


المعلومات عن القياس
تسافر بسرعة الضوء
القياس لم يعد في تطابق
تراكب بعد الآن
تنفلق الصفحتان عند القياس



زوج EPR في متعدّد الأكوان، المعلومات تقترب من سرعة الضوء ممزقة الطبقتين الشفافتين إحداهما عن الأخرى

بالنسبة لملاحظ مغروس في الصفحة، سيظهر أن الجسيم «يختار» فقط موضعه في لحظة القياس نفسها، وقبل القياس إذا أراد أحد الملاحظين، فربما سيرى شكل التداخل الذي سيبرهن على أن الجسيم كان في مكانين في الوقت نفسه. الكائن شبه الإلهي سيرى أن نقل المعلومات سيوضح فقط تركيب متعدّد الأكوان، مقشرًا صفحات العالم بعضها عن بعض كاشفًا عن طبيعته متعدّدة الأوراق. بالنسبة لشخص مغروس في الكون، مثل عالم في مختبر، سيكون عليه شرح غرابة ظاهرة أن الجسيمين «لايختاران» موضعيهما حتّى لحظة القياس بالضبط، إلا أنهما يرتبان ليتآمرا، عبر مسافة كبيرة، ليكونا في موضعين متضادين. فحتّى الفعل الشبحي للتشابك له معنى مادي في تفسير العوالم المتعددة.

إنه تفسير أكثر من مريح. إنه سهل نسبيًّا، أنيق إلى حدّ ما، وكلّ (كلّ!) ما يتطلّبه هو الاعتقاد في متعدّد الأكوان متعدّدة الأوراق بدلًا من الكون ذى الصفحة الواحدة. في صورة العوالم المتعدّدة، سيرى الملاحظ شبه الإلهي متعدّد الأكوان في كامل تعقيده، كحزمة من صفحات العالم، ملتصقة معًا في بعض الأماكن، ومنفصلة في أخرى. بينما تتحرّك المعلومات جيئة وذهابًا في الكون، فإنها تتسبّب في انفصال الصفحات إحداها عن الأخرى، صانعة فقاعة متعدّد الأكوان، ومتشعبة. (مع قياس قابل للعكس، حيث لا تتشتت المعلومات، فإن الصفحتين يمكنهما الالتحام معًا مرة ثانية). كلّ قياس، كلّ نقل للمعلومات ـ شاملًا ذلك الذي يحدث بواسطة الطبيعة ـ يتسبّب في أن ينشر متعدّد الأكوان صفحاته بعيدًا وأن يزدهر. المعلومات هي ما يحدّد أين يتفرّع متعدّد الأكوان وأين يلتحم، أين ينتشر بعيدًا وأين يلتصق. وحسب كلمات عالم الفيزياء الكمية ديفيد دويتش David Deutsch «إن تركيب متعدّد الأكوان يتحدّد بتدفق المعلومات» فالمعلومات هي القوّة التي تشكل كوننا.

لكن كيف يكون افتراض وجود أكوان موازية جذريًّا؟ حتّى مع كلّ تعقيد متعدّد الأكوان، فالعدد الذي لا يصدق من صفحات العالم ليس أكثر تعقيدًا من حشد الأكوان الموازية التي تم افتراضها في القسم السابق. فالحجج نفسها تنطبق. وهناك عدد محدود من الدالات الموجية المحتملة لدى أي منطقة معينة في الفضاء، هناك مجموعة محدودة من الاحتمالات لترتيب الطاقة والمادّة والمعلومات في حجم محدود. كلّ صفحة في متعدّد الأكوان المتعدّد الطبقات يمثل ترتيبًا محتملًا للمادة والطاقة والمعلومات، وفي كون محدود فإن كلّ تلك الترتيبات تحدث وتتكرّر وتتكرّر مرات لا حصر لها في مناطق مختلفة في الكون.

مع أن متعدّد الأكوان فائق التعقيد، فالأكوان الموازية لمتعدّد الأكوان ليست أكثر تعقيدًا من تلك التي يعتقد العلماء في وجوب وجودها في كون لا نهائي. لذلك فالظاهرة الجذرية للعوالم المتعدّدة ليست جذرية مع ذلك. إذا قبلت الاستخلاص بوجود الأكوان الموازية ـ كما يعتقد العديد من العلماء ـ فستحصل بلا تكلفة إضافية على تفسير لكلّ الظواهر العجيبة في ميكانيكا الكم. تطابق التراكب والتشابك لم يعد يتطلّب الإله الآلة deus ex machina «لانهيار» دالة الموجة أو «اختيار» الجسيم. إنها كلّها وظيفة المعلومات التي تتدفّق من مكان إلى مكان، مبدلة من تركيب متعدد الأكوان في هذه العملية. وخلف كلّ ذلك، فإن كوننا ربّما يتشكلّ كلّيا بواسطة المعلومات.

الحياة تتشكلّ أيضًا بواسطة المعلومات. كلّ المخلوقات الحية هي آلات لمعالجة المعلومات على مستوى ما، المخلوقات الذكية الواعية تعالج تلك المعلومات في عقولها كما في خلاياها. لكن قوانين

المعلومات تضع حدودًا لمعالجة المعلومات. هناك عدد محدود (حتّى ولو هائل) للطرق التي ترتب بها المعلومات في فقاعة هابل الخاصة بنا، لذا فهناك عدد محدود (أصغر لكنّه ما يزال هائلا) للطرق التي يجرى بها ترتيب ومعالجة المعلومات في رؤوسنا، بينما يستطيع البشر التفكر في اللانهاية، يمكننا فقط عمل ذلك بعدد محدود من الطرق. فربما يكون الكون لانهائيا، لكننا لسنا كذلك.

في الواقع، كلّ الحياة في الكون يجب أن تكون محدودة. وبينما يتمدّد الكون ويتطوّر، فإن انتروبيا الكون تزيد. النجوم تحترق وتموت، والطاقة يصبح وجودها أصعب وأصعب. المجرات تبرد وتصبح أقرب من ذي قبل إلى التوازن المتجمد. وفي كون يقترب من التوازن، من الصعب أن تجد الطاقة وتريق الانتروبيا، ويصبح أكثر وأكثر صعوبة الحفاظ على معلوماتك واستنساخها. ويصبح أكثر وأكثر صعوبة الإبقاء على الحياة. يجب أن تموت الحياة تمامًا؟

في عام 1997، فكر عالم الفيزياء فريمان دايسون Freeman Dyson في طريقة ماهرة للحفاظ على الحضارة حية حتّى والكون يموت: السبات hibernation. افترض فريمان أن تلك المخلوقات في مجرّة آفلة يمكنها تجهيز الآلات التي تجمع الطاقة (وتريق الانتروبيا) بينما المخلوقات نائمة، غير واعية، في حالة سبات. عندما تجمع الآلات الطاقة الكافية وتقوم بجلب بيئة الحضارة فورا خارج التوازن بما يكفي، فإن المخلوقات ستستيقظ. إنها تعيش لفترة على الطاقة المحصلة، تتخلّص من انتروبيتها في البيئة، وتعالج وترمم الضرر الذي أحدثته الطبيعة في معلوماتها المخزنة. وبينما تستنفد الطاقة وتصل بيئتها مرّة أخرى إلى التوازن، تعود إلى النوم حتّى تقوم الآلات بجعل الظروف ملائمة لها لكي تستيقظ مرة أخرى.

لكن في عام 1999 أوضح، لورانس كراوس Lawrence Krauss، عالم الفيزياء بجامعة كيز ويسترن ريسيرف Case Western Reserve، إن مخطط السبات قد فشل نهائيًّا. بينما يصل الكون إلى التوازن فإن آلات جمع الطاقة وإراقة الانتروبيا تستغرق وقتًا أطول وأطول لإنجاز مهمتها، لتجميع الطاقة المطلوبة وكي تريق الانتروبيا المطلوبة لإيقاظ المخلوقات. فترات السبات ستصبح أطول بشكل مثير وفترات الوعي ستصبح أقصر بشكلّ مثير بينما يتمدد الكون ويموت. وحيث يصل الكون إلى التوازن، بعد نقطة معينة فالماكينات يمكنها أن تبتعد محدثة صوت انفجار إلى الأبد ولن تجمع أبدًا طاقة كافية ولن تريق انتروبيا تكفي حتّى لإعطاء الحضارة لحظة أخرى من الوعي. وستتوقف معالجة المعلومات للأبد، المعلومات المخزنة بعناية بواسطة الحضارة عبر آلاف السنين ستتشتت ببطء في البيئة. والتوازن والانتروبيا سيجلبان الظلام إلى آخر حضارة حية. وتصبح الحياة منقرضة.

إنها صورة قاتمة، لكن علماء الفيزياء توصلوا إلى الاستنتاج نفسه بطريقة مختلفة. فكوننا (أو متعدّد الأكوان) يتقلّص باستمرار. والمعلومات تمرّ جيئة وذهابًا والبيئة (بوعي أو بدونه) ستعالجها وستشتتها. بمعنى ما، فإن الكون ككلّ يتصرّف مثل معالج ضخم للمعلومات، إنه يتصرّف ككمبيوتر.

لذلك، إذا كان يمكن اعتبار الكون، حتّى في التجريد ككمبيوتر، فكم عدد العمليات التي قام بإجرائها؟ كم عدد العمليات التي يمكنه إجراؤها في المستقبل؟ شكرًا لقوانين المعلومات، لقد أجاب العلماء على كلا السؤالين.

في عام 2001 قام سيث لويد ـ عالم الفيزياء الذي اكتشف أن الثقب الأسود عبارة عن كمبيوتر محمول قصوي ـ باستخدام منطق مشابه لحساب عدد عمليات الحوسبة التي استطاع أن يجريها الكون المرئي «فقاعة هابل الخاصة بنا» منذ الانفجار الكبير. من خلال علاقة الطاقة/الزمن، فإن كمية المادّة والطاقة في الكون تحدّد مقدار السرعة التي تجرى بها عمليات الحوسبة تلك، بناتج عدد مهول من العمليات مقداره 12010 من بداية الزمن حتّى اليوم. في عام 2004، قام كروس بالجانب الآخر من الحسابات، كمية الحوسبة التي يمكن إجراؤها في المستقبل. في كون متمدّد دومًا، فإن هذا الرقم محدود في فقاعة هابل الخاصة بنا، ويظهر أنه بالكاد أكثر من 12010 عملية، وبأكثر دقة العدد الأقصى نفسه للعمليات التي قد تكون أجريت في الماضي. العدد 12010 مهول لكنّه محدود. هناك عدد محدود من عمليات معالجة المعلومات التي بقيت في فقاعة هابل الخاصة بنا. ونظرا لأن الحياة تعتمد على معالجة المعلومات، فهي أيضًا، يجب أن تكون محدودة. الحياة لا يمكن أن تستمرّ إلى الأبد. إن لها على الأكثر 12010 عملية متبقية، وبعد ذلك فإن كلّ الحياة في الكون المرئي ستنقرض. المعلومات المخزنة والمحفوظة بواسطة تلك المخلوقات الحية ستتشتت بشكل غير مرتجع. بالرغم من أن المعلومات لا تدمّر أبدًا في الحقيقة، فستتبعثر بلا فائدة، في أرجاء كون مظلم بلا حياة.

هذه هي أقصى سخرية لقوانين المعلومات. علماء الفيزياء يستخدمون المعلومات لاكتشاف الأسئلة الأكثر عمقًا في الكون. ما القانون النهائي في الفيزياء؟ ما تفسير غرابة النسبية وميكانيكا الكم؟ هل نحن الكون الوحيد أم أن هناك أكوانًا أخرى؟ ما تركيب الكون؟ ما الحياة؟ باستخدام أدوات نظرية المعلومات، سيبدأ العلماء في الحصول على إجابات لكلّ هذه الأسئلة. لكن في الوقت نفسه، فإن أدوات نظرية المعلومات تلك قد كشفت عن مصيرنا النهائي. سوف نموت، مثل كلّ الإجابات التي لدينا على تلك الأسئلة، كلّ المعلومات التي جمعتها حضارتنا. الحياة لا بدّ أن تنتهي، ومعها سينتهي كلّ وعي وكلّ قدرة على فهم الكون. باستخدام المعلومات، ربّما سنجد الإجابات النهائية، إلا أن تلك الإجابات ستصبح بلا جدوى بقوانين المعلومات.

هذه هي المعلومات الثمينة التي ربما ستكشف الألغاز الأكثر إبهامًا عن الكون وتحمل في داخلها بذور فنائها الذاتي. سواء كانت معبأة في شريط ممغنط أو جرى امتصاصها إلى داخل ثقب أسود في أقصى الفضاء البعيد، فإن المعلومات موجودة في كلّ مكان، ولو تم حلّ شفرتها بطريقة صحيحة، فإنها ستكون بمثابة مفتاح بإمكانه إماطة اللثام عن أسرار الكون الباقية.

مسرد المصطلحات العلمية الواردة فى الكتاب

(من إعداد المترجم)

Above unity device

أداة ما بعد التوحُّد: يعود تاريخ آلات الحركة الأبدية إلى العصور الوسطى. ولآلاف السنين لم يكن واضحًا إذا ما كانت ممكنة أم لا. ولكن التطوّرات الحديثة لنظريّات الديناميكا الحراريّة أوضحت استحالة ذلك. وبالرغم من ذلك أُجريت عدّة محاولات لتشييد مثل هذه الآلات حتّى العصور الحديثة. ويستخدم المصمّمون المعاصرون مصطلحات أخرى مثل «مابعد التوحّد». وهناك نوعان من هذه الآلات، آلات الحركة الأبديّة من النوع الأول (التى تنتهك القانون الأول للديناميكا الحرارية) وهو مبدأ حفظ الطاقة وعدم خلقها من العدم. وتصنّف كلّ المحاولات في هذا النوع، وهناك آلات الحركة الأبدية من النوع الثاني (التي تنتهك القانون الثاني للديناميكا الحرارية) وهو مبدأ زيادة انتروبيا الكون، ومع أنّها تخضع لمبدأ حفظ الطاقة فإنّها تسعى لاستخلاص الشغل من صهريج ساخن مفرد، منتهكة مبدأ عدم نقص الانتروبيا على المستوى الكبير في نظام ديناميكي حراري معزول. وقد تعدّدت المحاولات من تصميمات العجلات السحرية الشائعة في العصور الوسطى التي كان يعتقد أنّها ستدور وحدها إلى الأبد، إلى تخطيطات ليوناردو دافنشي لآلات أعتقد أنّها ستدور دون استهلاك طاقة. وفى القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين استخدمت الحيل لتقديم عدّة تصميمات لآلات تعمل باستمرار دون استهلاك الطاقة. وإلى الآن ما زالت تُجرى محاولات لتصميم واختراع «أداة ما بعد التوحّد» التي تعمل دون استهلاك طاقة وإلى الأبد باستخدام تقنيّات معقّدة من المغناطيس وتطبيقات ميكانيكا الكمّ.

Agnostic

اللاأدريّة: هى توجُّه فلسفي يقول إنّ القيمة الحقيقية للقضايا الدينية أو الغيبية غير محدّدة ولا يمكن لأحد تحديدها. إنّ قضايا وجود الله أو الذات الإلهية بالنسبة لهم موضوع غامض كلّية ولا يمكن تحديده في الحياة الطبيعية للإنسان. فاللاأدرية أو الأغنوستية هي فلسفة أو مذهب لاديني تؤمن باستحالة التعرّف على وجود الله والتوصّل لهذا الإيمان ضمن شروط الحياة الإنسانية. والأغنوستية ليست عكس الغنوصية كما قد توحي الأسماء الإنجليزية، فاللاأدرية هي نفيُ وجود يقين بوجود الإله أو عدمه بينما الغنوصية هي طائفة قديمة يُعاد إحياؤها الآن وهي دين باطني صوفي وسرّي لحدّ ما ازدهر قديمًا في العالم الأغريقي واستخدمت بعض فرقه مصطلحات مسيحية للتعبير عن فكرها الفريد.

Alpha Centauri

ألفا قنطور: أو رجل القنطور، من نجوم كوكبة القنطور الأكثر ضياءً، وهو أقرب نظام نجمي إلى الشّمس على بعد 4.33 سنة ضوئيّة، وهو نجم ثلاثيّ مكوّن من نجمين شبيهين بالشّمس وقزم أحمر الّذي هو أقرب النّجوم إلى الشمس على بعد 4.22 سنة ضوئية وهو المسمّى «بروكسيما».

Amplitude

سعة الموجة: تعتبر السعة القصوى من موجة خلال تغيّر دوري في الفيزياء. ففي حالة البندول، يتأرجح البندول من مقدار إزاحة عظمى عائدًا إلى نقطة الاتزان ومنها إلى إزاحة عظمى على الناحية الأخرى ثم يعود في اتّجاه نقطة الاتّزان، وهكذا. وسعة الموجة هي مقدار الإزاحة العظمى. وتتّسم الحركة الموجية بالتغيّر الدوري.

Anthropomorphizing

التجسيم البشري: يُقصد به إسناد الخصائص والصفات البشرية إلى الجماد والحيوان والظواهر الطبيعية أو الخارقة، وخصوصًا اللاهوتيّة.

Anti-matter

المادّة المضادّة: في فيزياء الجسيمات، هي امتداد لمفهوم الجسيم المضادّ للمادّة، حيث تتكوّن المادّة المضادّة من جسيمات مضادّة بنفس الطريقة التي تتكّون منها المادّة العادية من جزيئات. على سبيل المثال، الإلكترون المضادّ (البوزيترون، هو إلكترون ذو شحنة موجبة) والبروتون المضادّ (بروتون ذو الشحنة سالب) يمكن أن يشكّلوا ذرّة مضادّ الهيدروجين بنفس الطريقة التي يشكّل بها الإلكترون والبروتون ذرّة هيدروجين عادية. وعلاوة على ذلك، فإنّ خلط المادّة مع المادّة المضادّة يؤدّي إلى فناء كلّ منهما وبنفس الطريقة تفنى الجسيمات والجسيمات المضادّة، ممّا يؤدّي إلى ظهور طاقة كبيرة من الفوتونات (أشعة جاما) أو غيرها من أزواج من الجسيمات والجسيمات المضادّة. هناك تكهّنات كثيرة عن السبب في أن الكون المدرك يتكوّن بشكل كامل تقريبًا من المادّة، وما إذا كانت توجد غيره من الأماكن تتكوّن بالكامل تقريبًا من المادّة المضادّة، وماذا يحدث إذا تمّ استغلال المادّة المضادّة، ولكن في هذا الوقت يشكّل عدم التماثل الواضح للمادّة والمادّة المضادّة في الكون المرئي إحدى المشاكل الكبرى التي لم تحلّ في الفيزياء.

Arrow of the time

سهم الزمن: في العلوم الطبيعية، هو مصطلح صكّه عام 1927 الفلكي البريطاني أرثر إدنجتون لتمييز اتّجاه الزمن على خارطة رباعية الأبعاد للعالم. وفقًا لإدنجتون فإنّ اتّجاه الزمن يمكن أن يحدّد عن طريق دراسة تنظيمات وتجمعات الذرات والجزيئات والأجسام. العمليّات الفيزيائية على المستوى المجهري يمكن أن تصوّر إمّا على أساس أنّها متناظرة زمنيّا كلّيًّا أو جزئيّا، ممّا يعني أنّ العبارات الفيزيائية التي تصف هذه العمليات يجب أن تبقى صحيحة إذا تمّ عكس الزمن. العمليات الفيزيائية التلقائية التي تترافق غالبًا بازدياد في الإنتروبية لا تؤمن شرط التناظر في الزمن هذا ممّا يجعل منح الزمن اتّجاه محدّد من الماضي إلى الحاضر إلى المستقبل أمرًا ضروريًّا.

Atomic lattice

الشعرية الذرّية: يقصد بها في علم المعادن ترتيب الذرّات في شكل بلوري.

Bell curve

منحنى الجرس: في نظرية الاحتمالات، التوزيع الطبيعي (أو الجاوسي) هو توزيع احتمالي مستمرّ يستخدم غالبًا كتقريب أوّلي لوصف المتغيّرات العشوائية التي تميل إلى التمركز حول قيمة متوسّطة وحيدة. ويكون له شكل الجرس، ويعرف بمنحنى الجرس. وهو يستخدم في الإحصاء، والعلوم الطبيعية، والعلوم الاجتماعية كنموذج بسيط للتعامل مع ظواهر معقّدة.

Bessel beam

أشعّة بيسيل: هي مجال أشعّة مغناطيسية أو كهرومغناطيسة أو صوتية التي يمكن وصف قيمتها من خلال دالّة بيسيل من النوع الأوليّ. أشعة بيسيل الحقيقية غير مشتّتة، وهذا يعنى أنّها لا تتشتّت أثناء انتشارها للخارج فى مقابل سلوك الضوء (أو الصوت) المعتاد. حيث ينتشران للخارج بعد تركيزهما على نقطة صغيرة. أشعّة بيسيل، أيضًا، تلتئم ذاتيًّا بمعنى أنّ الأشعّة يمكن اعتراضها جزئيًّا في نقطة واحدة ولكنّها تستعيد تشكّلها فى نقطة على محور الأشعّة.

(Bit (bits

بتة (بتات): يتمّ تخزين المعلومات ومعالجتها في الكمبيوتر على شكل بتات (bits) المفرد بتة (bit). وتعدّ البتة نظريًّا أصغر وحدة حاملة أو ناقلة لمعلومة أو لمعنى معيّن، وعمليًّا: ففي الكمبيوتر والمعالج الرقمى، فإنّ البتة هي عبارة عن نبضة كهربائية إمّا موجبة أو سالبة، وهي عبارة عن خانة واحدة من نظام عدٍّ ثنائيّ ولها احتمالان فقط (أو وضعان)، ويرمز لها بأحد الرقمين الثنائيّين 0 أو 1. وإذا اجتمعت أكثر من بتة واحدة كَبُرَ عدد الاحتمالات الممكنة بالتناسب: فبإجراء التباديل والتوافيق لبتتين ، نحصل على الاحتمالات الآتية (00) و(10) و(01) و(11). أي أنّ هناك 4 احتمالات ممكنة بالنسبة للبتتين. و بصفة عامّة فإنّ عدد الاحتمالات بالنسبة لنظام عدٍ ما، يساوي عدد الاحتمالات بالنسبة للخانة الواحدة مرفوعة لقوّة عدد الخانات. وإذا طبقّنا ذلك على النظام الثنائي عدد الاحتمالات = 2n ، فإنّ 3 بتات تعطي 8 احتمالات و4 بتات تعطي 16، و9 بتات تعطي 512، وهكذا...

Blackbody spectrum

طيف الجسم الأسود: يعتبر الجسم الأسود في الفيزياء جسمًا مثاليًّا يمتصّ كلّ موجات الضوء الساقطة عليه دون أن يعكس أيًّا منها. وكما يمتصّ الجسم الأسود جميع موجات الضوء الساقطة عليه، يقوم أيضًا بإصدار جميع موجات الإشعاع الحراري، أي إشعاع الجسم الناتج عن درجة حرارته. ويمكن أن يكون الضوء جزءًا منها. ونذكّر هنا بالحديد الساخن يحمرّ لونه ثم يصفرّ. ولدراسة إشعاع الأجسام اختار الباحثون الجسم الأسود لهذا الغرض لتناسب خواصّه. ويمكن تمثيل الجسم الأسود بفقّاعة في مادّة صُلبة غير شفّافة استعملها بعض العلماء بدلًا من الجسم الأسود فهي تشاركه نفس الخواصّ. بوضع تلك الفقّاعة عند درجة حرارة ثابتة، فتصل إلى حالة التوازن الحراري، ويصبح فيها طيف من الموجات الحرارية، وقد أثبتت القياسات أنّ هذا الطيف يعتمد على درجة حرارة جدرانها. فكلّ درجة حرارة لها يتبعها توزيع معيّن لطيف إشعاعها الحراري، وهذا يحدث تمامًا مع الجسم الأسود. وإذا وضع جسم أسود وله حرارة معيّنة بالقرب من أجسام أخرى في حالة اتّزان حراري فإنّه في المتوسط يشعّ من الموجات الحرارية بقدر ما يمتصّه، وهذه الحالة تسمّى حالة الاتزان الحراري. وكان الشكل المميّز لطيف الموجات الحرارية (وهي موجات كهرومغناطيسية) هو البحث الرئيسي لماكس بلانك العالم الألماني الذي على أساسه توصّل إلى نظرية الكمّ، والتي تقول إنّ الطاقة لها حدّ صغير مقداره ثابت بلانك ولا توجد طاقة على الإطلاق أقلّ من هذا الثابت الطبيعي. وتساعدنا دراسة الإشعاع الحراري للجسم الأسود على معرفة أطياف الشمس والنجوم. كما لها تطبيقات عملية تستخدم في بعض الصناعات التي تعتمد على درجات

الحرارة العالية. وقد أدّت مسألة إيجاد الآلية التي تجعل طاقة إصدار الذرّات للإشعاع الحراري موزّعة على مختلف التواترات كما يشاهد تجريبيًّا إلى ولادة فيزياء الكمّ.

Black hole

الثقب الأسود: منطقة في الفضاء تحوي كتلة كبيرة في حجم صغير يسمّى بالحجم الحرج لهذه الكتلة، والذي عند الوصول إليه تبدأ المادّة بالانضغاط تحت تأثير جاذبيّتها الخاصّة، ويحدث فيها انهيار من نوع خاصّ بفعل الجاذبية ينتج عن القوّة العكسية للانفجار، حيث إنّ هذه القوّة تضغط النجم وتجعله صغيرًا جدًّا وذا جاذبية قوية خارقة. وتزداد كثافة الجسم (نتيجة تداخُل جسيمات ذرّاته وانعدام الفراغ البينيّ بين الجزيئات)، تصبح قوّة جاذبيته قوّية إلى درجة تجذب أي جسم يمرّ بالقرب منه، مهما بلغت سرعته. وبالتالي يزداد كمّ المادّة الموجودة في الثقب الأسود، وبحسب النظرية النسبية العامّة لأينشتاين، فإنّ الجاذبية تقوّس الفضاء الذي يسير الضوء فيه بشكل مستقيم بالنسبة للفراغ، وهذا يعني أنّ الضوء ينحرف تحت تأثير الجاذبية .ويمتصّ الثقب الأسود الضوء المارّ بجانبه بفعل الجاذبية، وهو يبدو لمن يراقبه من الخارج كأنّه منطقة من العدم، إذ لا يمكن لأيّ إشارة أو موجة أو جسيم الإفلات من منطقة تأثيره فيبدو بذلك أسود وقد أمكن التعرّف على الثقوب السوداء عن طريق مراقبة بعض الإشعاعات السينية التي تنطلق من الموادّ عند تحطّم جزيئاتها نتيجة اقترابها من مجال جاذبية الثقب الأسود وسقوطها في هاويته. فمثلًا لكي تتحوّل الكرة الأرضية إلى ثقب أسود، سيستدعي ذلك أن تتحوّل إلى كرة نصف قطرها 0.9 سم وكتلتها نفس كتلة الأرض الحالية.

Boolean logic

المنطق البولياني: هو نظام كامل للعمليات المنطقية. أخذ تسميته من العالم جورج بول الذي قام بتعريف النظام الجبري للمنطق في منتصف القرن التاسع عشر. للمنطق البولياني العديد من التطبيقات في الإلكترونيّات، أجهزة وبرامج الكمبيوتر.

Brownian motion

الحركة البراونية: سميت في الفيزياء تشريفًا للعالم روبرت براون ويقصد بها الحركة العشوائية للجزيئات الدقيقة جدًّا في السائل. أو الأعمال الرياضية المستخدمة لتوضيح تلك الحركات العشوائية. وقد لاحظ براون أنّ حركة الحبيبات الهلامية الصغيرة في سائل ناتجة عن حركة جزيئات السائل التي تصطدم بها. فكلّ ذرّة أو جزيء في السائل له حركة تتغيّر شدّتها بتغيّر درجة حرارة السائل.

(Byte (bytes

بيتة (بيتات): تسمّى كلّ ثماني بتات مجتمعة بايت (byte) جمعها بايتات (bytes). ومضاعفاتها كيلوبايت وميجابايت وجيجابايت وتيرابايت وبيتابايت واكسابايت وزيتابايت ... إلخ.

Casimir effect

تأثير كازيمر: هي قوى فيزيائية ناتجة عن المجال الكمّي، اكتشفه الفيزيائي الهولندي هندريك كازيمر سنة 1948. مثال ذلك لوحان معدنيّان غير مشحونين، موضوعان في الفراغ، ويفصلهما بضعة ميكرومترات ولا يؤثّر عليهما أيّ مجال كهرومغناطيسي خارجي. عند دراسة

تأثيرالمجالات من الناحية الكلاسيكية يفترض عدم وجود أي قوى بين اللوحين يمكن قياسها لانعدام وجود مجال خارجي. لكن من ناحية كهروديناميكا الكمّ فإنّنا نجد أنّ اللوحين سيتأثّران بقوى الفوتونات الافتراضية التي تؤسّس المجال وتولّد قوّة جذب أو تنافر صافية اعتمادًا على وضعية اللوحين. لقد تمّ قياس هذه القوّة فعلًا ومع ذلك فقد أثارت شروطها الحدّية بعض الجدل.

Chaos

شواش: ضمن الإطار الميتافيزيقي: يكون الشواش معاكسًا لكلمة قانون أو نظام سواء من ناحية فيزيائية طبيعية أو من ناحية اجتماعية سياسية: وهو غير محصور وغير محدّد يمكن أن يسلك سلوكًا بنّاءً خلّاقًا أو هدّامًا. رياضيًّا: يعني الشواش السلوك الحتمي اللادوري الحسّاس للشروط البدئية كما تدرسه نظرية الشواش، لكنّ نظرية الكمّ تستخدمه أيضًا بمفهوم السلوك الاحتمالي الذي تظهره الجمل الكمّية والتي تظهر لايقين غير مرتبط فقط بالشروط البدئية. من وجهة نظر مسبقة ميتافيزيقية، يتمّ دومًا افتراض أنّ الشواش الميتافيزيقي أو حالة الفوضى البدئية للعالم تمثّل حالة الشرّ والضياع الأول في العالم في حين أنّ النظام والترتيب هو الخير، لكن يجب أن ننتبه أنّه في الكثير من الأحيان يكون الشواش هو الخير والنظام هو الشرّ، مثل هذه النظرة الخيرة يتمسّك بها اللاسلطويّون حيث يعتبرون حالة التحكّم والسيطرة من قبل الدولة على حرّيات الأفراد هي الشرّ المطلق للبشرية. وأمثلة الحكومات الديكتاتورية والأنظمة الشمولية تشكّل أمثلة واضحة عن خطورة النظام والتحكّم في حياة البشر ومن أجل ذلك يخرج مناضلو الحرّية ثائرين على الأنظمة، لذلك طالما اعتبرت دراسة حالة النظام والشواش إحدى معضلات علم الأخلاق.

Clockwork orange

البرتقالة الآلية: رواية لأنتوني برجيس صدرت في عام 1962 وكان ترتيبها رقم 65 ضمن أفضل 100 رواية كتبت باللغة الإنجليزية فى القرن العشرين. وقد رسمت هذه الرواية صورة لمستقبل المجتمع الغربي على ضوء نزعة التطرّف والعنف التي ستجتاح الشباب، وهي تظهر طبيعة العنف المتأصّل لدى البشر وحدود حرّية إرادة الإنسان في الاختيار مابين الخير والشرّ وبالتالي فإنّ تقييد حرّية الإرادة هو الحلّ للتخلّص من الشرّ.

Computation

الحوسبة: مصطلح عامّ يُطلق على أيّ نوع من العمليات أو اللوغاريتمات أو القياسات؛ وهو يشمل كذلك البيانات الرقمية، على سبيل المثال وليس الحصر. ويشمل الظواهر التي تتراوح ما بين التفكير البشري وحتّى الحسابات ذات المعنى الأضيق نطاقًا. والحوسبة عملية تتلو نموذجًا محدّدًا يكون مفهومًا ويمكن التعبير عنه في لوغاريتم أو بروتوكول أو طوبولوجيا الشبكات...إلخ. كما أنّ الحوسبة موضوع رئيسي في علوم الحاسب الآلي (علوم الكمبيوتر) حيث يتحرّى ما يمكنه أو ما لا يمكنه القيام به بشكل حوسبي.

Copenhagen interpretation

تفسير كوبنهاجن: هو التفسير الذي تبنّاه كلا العالمين نيلز بور وفيرنر هايزنبرج لتفسير النتائج المحيّرة لميكانيكا الكمّ وهو يعتمد أساسًا على تمديد فكرة التفسير الاحتمالي للدالّة الموجيّة الذي قدّمه ماكس بورن محاولين تفسير ظواهر كمّية غريبة مثل ثنائية (جسيم/موجة) وإشكالية القياس.

Crests and throughs

قمم الموجة وقيعانها: قمّة الموجة هي قيمة أعلى نقطة على الموجة أو الإزاحة الأعلى ضمن الدورة. والقاع هو عكس القمّة وبالتالى فهو أقلّ أو أخفض نقطة في الدورة.

Cryptogram

الكريبتوجرام: هو نوع من الأحجية التي تتكوّن من قطعة صغيرة من نصّ مشفّر. وعمومًا، فإن الشفرة المستخدمة لتشفير النصّ هي مبسطة بحيث إنّ الكريبتوجرام يمكن حلّه باليد. والشفرات المستخدمة عادة ما تكون استبدالية بحيث يتمّ إحلال الحرف بحرف أو برقم بديل. ولحلّ الأحجية فعلى المرء أن يستعيد الحروف الأصلية. ومع أنّ الكريبتوجرام يستخدم في تطبيقات جادّة، فإنّه يطبع الآن بشكل أساسي للتسلية في الصحف والمجلات.

Decoherence

التفكيك: التفكيك في ميكانيكا الكمّ هو فقدان الاتّساق أو الترتيب لزوايا الطور بين مكوّنات نظام في حالة تطابق تراكب كمّية. وأحد تبعات هذا التفكيك هو السلوك الإضافي الكلاسيكي أو الاحتمالي. التفكيك الكمّي يعطي مظهر انهيار دالّة الموجة (اختزال الاحتمالات إلى احتمال واحد كما يراه الملاحظ) ويبرّر إطار وإدراك الفيزياء الكلاسيكية، وكتقريب مقبول فإنّ التفكيك هو آليّة فأنّ الحدّ الكلاسيكي ينبثق خارج نقطة البدء الكمية وهو يحدّد موضع حدّ الكمّ الكلاسيكي، ويحدث التفكيك عندما يتفاعل النظام مع بيئته بطريقة ديناميكا حرارية غير عكسية. وهذا يمنع العناصر المختلفة لتطابق التراكب الكمّي لدالّة النظام مع البيئة من تداخُل بعضها مع بعض. وقد أصبح التفكيك موضعًا للبحث النشيط منذ ثمانينيات القرن العشرين.

Diffraction

حيود: يشير في العادة إلى ظواهر طبيعية عديدة تحدث عند اصطدام موجة(ضوئية أو صوتية) بعائق وتوصف بأنّها انحناء شديد الوضوح للموجات حول عوائق صغيرة وانتشار الموجات من خلال فتحات صغيرة. ويحدث انحراف الضوء مع كلّ الموجات بما يشمل الموجات الصوتية والموجات الضوئية والموجات الكهرومغناطيسية مثل الضوء المرئي وأشعة إكس وموجات الراديو. وتحدث ظاهرة الحيود أيضًا مع الجسيمات الأوليّة مثل الإلكترون والنيوترون حيث إنّ الجسيمات الأولية لديها خصائص موجية، فحيود الضوء يحدث أيضًا مع المادّة ويمكن أن يُدرس طبقًا لميكانيكا الكمّ. ويحدث حيود الضوء عند تداخل الموجات الضوئية المنتشرة بعد مرورها من خلال فتحتين أو أكثر، ويلاحظ تأثيراته على وجه الخصوص عندما تكون طول موجة الأشعة مقاربة أو مساوية للمسافات بين أنظمة الجسيمات المنحرفة عليها. وتتولّد النماذج النظامية نتيجة تداخُل الموجات الضوئية فتشتدّ كثافتها عند نقطة وتقلّ كثافتها عند أخرى.

Dispersion

التشتت: أو التقزح هو فصل الضوء إلى ألوانه. حيث تنكسر الألوان بحسب قيمها المختلفة، فلكلّ لون درجة انكسار معيّنة. في تشتّت الضوء الأبيض يفصل إلى الألوان في الطيف المرئي. يتشتّت الضوء عبر المنشور، كما يمكن للحيود والاستطارة أن يسبّبا تشتّت الضوء.

Elementary particles

الجسيمات الأولية: هي جسيمات لا تملك بنية داخلية مقاسة (قابلة للقياس). بمعنى أنّها لا تتكوّن من بنًى جسيمية أدنى منها فهي غير مركّبة ممّا هو أدنى بل تشكّل كيانًا مستقلًّا تتألّف منه بقيّة العناصر المادّية المركّبة من ذرّات وجزيئات وعناصر. طبعًا هذا التعريف لا يشمل ما يدعى بالأوتار في نظرية الأوتار الفائقة. ويعتبر كلا البروتون والنيوترون من الجسيمات الأوّلية برغم شدّة الاعتقاد بتكوّن كلّ منهما من ثلاثة أنواع مختلفة من الكواركات. وتعتبر الجسيمات الأولية المكوّنات الأساسية ضمن نظرية المجال الكمّي. ويمكن تصنيف هذه الجسيمات حسب دورانها المغزلي حيث تملك بعض الجسيمات دوران مغزلي نصف صحيح (عزمًا مغزليًّا =1/2) فتدعى فرميونات والبعض الآخر تملك دورانًا مغزليًّا صحيحًا = 0 أو 1. فتدعى بوزونات. ينتمي إلى الفرميونات الإلكترون والبروتون والنيوترون والميزون، وكذلك نقيض أو معاكس تلك الجسيمات كالبوزيترون ومضادّ البروتون ونقيض النيوترون ونقيض الميزون وغيرها. وينتمي إلى البوزونات الفوتون والجلوون والبوزونات ناقلة القوّة النووية الضعيفة مثل بوزون W وبوزون Z ويعتقد أيضًا بوجود بوزون إضافي لم يتم الكشف عنه عمليًّا بعد وهو بوزون هجز الافتراضي أو الجرافيتون.

Entanglement

التشبيك: هو ظاهرة كَمّية ترتبط فيها الجسيمات الكميّة (مثل الفوتونات والإلكترونات والجزيئات) ببعضها، برغم وجود مسافات كبيرة جدًّا جدًّا تفصل بينها قد تبلغ مئات السنين الضوئية. ممّا يقود إلى ارتباطات في الخواصّ الفيزيائية المقاسة لهذه الجسيمات الكمّية. يمكن على سبيل المثال أن نجعل جسيمين في حالة كمّية مفردة بحيث يكونان متعاكسين حتمًا في غزلهم، فإذا قسنا غزل أحدهما وتبيّن أنّه ذو غزل علوي فالآخر حتمًا سيكون سفلي الغزل، وبالعكس يجب أن نتذكّر هنا أنّ نتيجة القياس للجسيم الكمّي عشوائية تمامًا حسب تفسير كوبنهاجن المعتمد ولا يمكن التنبّؤ بنتائج هذا القياس، ومع ذلك فإنّ عملية القياس المجراة على جملة كمّية تؤثّر آنيًّا على جمل كمّية أخرى متشابكة مع الأولى. برغم أنّ سرعة نقل المعلومات هنا تخرق مبدأ سرعة الضوء العظمى في النسبية فإنّه لا يمكن نقل معلومات كلاسيكية عن طريق التشابك الكمّي ممّا يسمح بالحفاظ على النظرية النسبية.

Entropy

انتروبيا: أصل الكلمة مأخوذ عن اليونانية ومعناها «تحوّل». أصبحت الانتروبيا مصطلحًا أساسيًّا في الفيزياء والكيمياء ضمن قوانين التحريك الحراري في الغازات أو السوائل، وخاصّة بالنسبة للقانون الثاني للديناميكا الحرارية، الذي يتعامل مع العمليات الفيزيائية للأنظمة الكبيرة المكوّنة من جزيئات بالغة الأعداد ويبحث سلوكها كعملية تتمّ تلقائيًّا أم لا. يميل أيّ نظام مغلق إلى التغيّر أو التحوّل تلقائيًّا بزيادة انتروبيته حتّى يصل إلى حالة توزيع متساوٍ في جميع أجزائه، مثل تساوي درجة الحرارة، وتساوي الضغط ، وتساوي الكثافة وغير تلك الصفات. وقد يحتاج النظام المعزول الوصول إلى هذا التوازن بعضًا من الوقت. مثال على ذلك إلقاء قطرة من الحبر الأزرق في كوب ماء، نلاحظ أنّ قطرة الحبر تذوب وتنتشر رويدًا رويدًا في الماء حتّى يصبح كلّ جزء من الماء متجانسًا بما فيه من حبر وماء، فنقول إنّ انتروبة النظام تزايدت. أي أنّ مجموع إنتروبية نقطة الحبر النقية + إنتروبية الماء النقيّة تكون أقلّ من إنتروبية النظام «حبر ذائب في ماء». ولوصف مدلول الانتروبيا نفترض المثال المذكور أعلاه وهو مثال الماء ونقطة الحبر الذائبة فيه فنجد أنّ

اختلاط نقطة الحبر بالماء سهل ويتمّ طبيعيًّا، أمّا إذا أردنا فصل نقطة الحبر ثانيًا عن الماء ليصبح لدينا ماء نقي وحبر نقي فتلك عملية صعبة ولا تتمّ إلّا ببذل شغل. فنقول إنّ حالة المخلوط ذات انتروبيا كبيرة، بينما حالة الماء النقي والحبر النقي تكون ذات انتروبيا منخفضة.

EPR pair

زوج EPR: هو اختصار آينشتين، بودولسكي، روزن، وهم العلماء الذين قرّروا ألّا يعترفوا بالتفسيرات المعتمدة من جماعة كوبنهاكن (أمثال بور، هايزنبرغ، بورن) والذين يحملون شعار «احسب وأغلق فمك» المنسوب إلى فايمان وهو شعار يلخّص نظرتهم ـ وهي النظرة الأكثر رواجًا ـ أنّ قوانين الكمّ ما هي إلّا معادلات رياضية وصفية قد تؤدّي أحيانًا إلى نتائج غير عملية لا يجب الالتفات إليها. فأحد قوانين ميكانيكا الكمّ على سبيل المثال وهو مبدأ عدم اليقين لهايزنبرغ يقضي باستحالة تحديد سرعة جسيم ومعرفة موقعه في نفس الوقت، حيث إنّ عدم يقين قياس الموقع يتناسب عكسًا مع عدم يقين قياس سرعته. وهذا المبدأ لم يكن ليمرّ على الفيزيائيين دون طرح السؤال: «لماذا نحن غير قادرين على معرفة الحقيقة الكاملة أي سرعة الجسم مع معرفة موقعه بالتحديد؟» الإجابة عن هذا التساؤل سببت اضطرابات كثيرة وسجالات بين فيزيائيي ذلك العصر وقد تعدّدت الآراء ممّن يرى أنّ عملية القياس تسبّب عدم الدقّة وعدم الاستقرار في الجملة المدروسة (مثلًا لرؤية إلكترون فائق السرعة حتّى نتمكّن من تحديد موقعه نحتاج إلى وسيط وهو هنا الفوتون الضوئي الذي يمكننا من الرؤية، هذا الفوتون ببساطة سوف يتفاعل مع الإلكترون ويفسد عملية القياس) إلى من يقول بأنّ ميكانيكا الكمّ تحتاج إلى إعادة النظر حيث لا يمكن قبول اللاحتمية في توقّعاتها العلمية (وهم جماعة آينشتين) إلى قائل بنظريّات أكثر فلسفية مثل (نظرية الوعي)، ليبقى تفسير كوبنهاكن هو المعتمد من أكثر الفيزيائيين وهو أنّ ميكانيكا الكمّ لا تعاني من أيّ خلل جوهري وأنّه ينبغي أن نطوّر عقولنا وطرق تفكيرنا حتّى نتعامل مع النتائج والمعارف الثورية التي تطرحها.

Event

الحدث: مصطلح يستخدم في الفيزياء وفي النسبية خصوصًا، ويشير الحدث إلى حالة فيزيائية في نقطة محدّدة في الزمكان. على سبيل المثال فإنّ كسر الكوب على الأرض هو حدث، يحدث في مكان وزمان فريدين فى إطار مرجعي معطى. وفي نظرية النسبية العامّة، يستعمل مصطلح أفق الحدث باعتباره حدًّا موجودًا في الزمكان، كمنطقة تحيط بالثقب الأسود أو الثقب الدودي، لاتتأثّر ضمنه الحوادث بالملاحظ الخارجي. السبب ببساطة أنّ الضوء المنبعث من داخل أفق الحدث لا يمكنه أن يتجاوز هذا الحدّ للوصول إلى الراصد الخارجي (الجهة الأخرى لأفق الحدث) بسبب الثقالة والجاذبية القوية للثقب الأسود. وتوجد أنماط أخرى من الأفق تتضمّن الأفق المطلق والظاهري المتواجدين حول أي ثقب أسود.

Event horizon

أفق الحدث: في نظرية النسبية العامّة، يستعمل مصطلح أفق الحدث باعتباره حدًّا موجودًا في الزمكان، كمنطقة تحيط بالثقب الأسود، ضمنه لا تؤثّر الحوادث بالملاحظ الخارجي. السبب ببساطة أنّ الضوء المنبعث من داخل أفق الحدث لا يمكن له أن يتجاوز هذا الحدّ للوصول إلى

الراصد الخارجي (الجهة الأخرى لأفق الحدث) بسبب الثقالة والجاذبية القويّة للثقب الأسود. توجد أنماط أخرى من الأفق تتضمّن الأفق المطلق والظاهري المتواجدين حول أيّ ثقب أسود.

Fossil

حفرية: هي بقايا حيوان أو نبات محفوظة في الصخور أو مطمورة تحت تحلّلها خلال الأحقاب الزمنية. وتظهر لنا الحفائر أشكال الحياة في الأزمنة السحيقة وظروف معيشتها وحفظها خلال الحقب الجيولوجية المختلفة. ومعظم الحفائر للحيوانات والنباتات عاشت في الماء أو دفنت في الرمل أو الصخور أو الجليد. لكنّ الأسماك عادة لا تصبح حفائر؛ لأنّها عندما تموت لا تغطس في قاع الماء. لهذا فإنّ حفائر الأسماك نادرة وقد تظهر على الشواطئ نتيجة المدّ والجذر. ويعتبر الفحم الحجري حفائر للنباتات المتحجّرة. ولا يبقى من الأسماك سوى الهيكل العظمي والأسنان وعظام الرأس .والإنسان والحيوانات لا يبقى منهما سوى العظام والأسنان والجماجم. وقد تبقى مدّة ملايين السنين كالماموث والفيلة التي عثر عليها على ضفة نهر التيمس. وقد تترك النباتات والحيوانات الرخوة بصماتها كالأعشاب والرخويات. وقد تحتفظ الثمار والبذور وحبوب اللقاح بهيئتها كثمار البلح التي وجدت في الطين بلندن. وأوراق النباتات قد تترك بصمات شكلها وعروقها مطبوعة لو سقطت فوق الطين الذي يجفّ بعدها. ووجدت متحجّرات في حمم البراكين أو في الصخور أو تحت طبقات الجبال والتلال والجليد. ومن الأحافير يمكن تحديد أصول وعمر الإنسان والحيوان والنبات خلال الحقب التاريخية والجيولوجية التي تعاقبت فوق الأرض.

General relativity

النسبية العامة: هي نظرية هندسية للجاذبية نشرها ألبرت آينشتين عام 1916، وتمثّل الوصف الحالي للجاذبية في الفيزياء الحديثة، بتعميمها للنسبية الخاصّة وقانون الجذب العامّ لنيوتن وتزويدها لوصف موحّد للجاذبية كخاصّية هندسية للمكان والزمان، أو الزمكان. تختلف بشكل واضح تنبّؤات النسبية العامّة عن تلك الخاصّة بالفيزياء التقليدية، لا سيّما فيما يتعلّق بمرور الوقت، وهندسة المكان، والسقوط الحرّ للأجسام، وانتشار الضوء. تتضمّن الأمثلة على مثل هذه الاختلافات التمدّد الزمني الجذبوي، وتشكيل عدسات الجاذبية، والانزياح الأحمر الجذبوي للضوء، والإبطاء الزمني الجذبوي. وتعدّ النسبية العامّة أبسط النظريات النسبية للجاذبية بسبب اتّساقها مع البيانات التجريبية، وبالرغم من ذلك لا تزال الأسئلة قائمة حول كيفية توحيد النسبية العامّة مع قوانين فيزياء الكمّ لإنتاج نظرية كاملة ومتوافقة ذاتيًّا للجاذبية الكمّية. وللنسبية العامّة افتراضات هامّة في الفيزياء الفلكية، مثل وجود الثقوب السوداء. على سبيل المثال تنتج نواة المجرّة النشطة من وجود الثقوب السوداء النجمية والثقوب السوداء فائقة الضخامة على التوالي. من الممكن أن يقود انحناء الضوء بالجاذبية إلى تشكّل عدسات الجاذبية المؤدّية لظهور عدّة صور مرئية لنفس الجسم الفلكي البعيد في السماء، وأضافت فكرة تقعر الفراغ بوجود المادّة، وهو الأمر الذي يعني أنّ الخطوط المستقيمة تتشوّه بوجود الكتلة، الأمر الذي أثبت عندما تحقّق تنبّؤ آينشتين بالتباعد الظاهري لنجمين في فترة كسوف الشمس وذلك يعود إلى تشوّه مسار الضوء القادم من النجمين بسبب مرورهما قرب الشمس ذات الكتلة العالية نسبيّا وبالتالي تقوّس خطّ سير الضوء القادم من النجمين. تنبّأت النسبية العامّة أيضًا بوجود أمواج الجاذبية والتي لوحظت وقتها بشكل غير مباشر ولايزال رصدها بشكل مباشر هدف بعض المشاريع. بالإضاقة لذلك تمثّل النسبية العامّة الأساس لنماذج علم الكون الفيزيائي الحالية لكون دائم التوسّع.

Genome

الجينوم:هو فهرس الشفرة الوراثية ويعتبر في علم الأحياء أحد التخصّصات الفرعية من علم الوراثة والذي يُعنى بدراسة كامل المعلومات الوراثية في الكائن الحي المشفّرة ضمن DNA وأحيانًا ضمن RNA في بعض الفيروسات. وتشمل دراسة الجينوم كلّ الجينات التي تنتج البروتين وتشمل أيضًا المناطق التي كانت تسمّى DNA غير المشفّر الذي لا ينتج بروتينات. وتمّ صياغة مصطلح الجينوم عام 1920 من قبل هانز وينكلر Hans Winkler أستاذ علم النبات في جامعة هامبورج بألمانيا كدمج للكلمات gene and chromosome وبشكل أكثر دقّة فإنّ الجينوم هو كامل تسلسل DNA ضمن مجموعة وحيدة من الكروموسومات.

Googol

الجوجول: مصطلح رياضي يشير لرقم واحد يليه مئة صفر. 1 جوجول = 10 100
10.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000
.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.0
00.000.000 . وقد وضع هذا المصطلح العالم ميلتون سيروتا في عام 1938، وذاع استخدامه في كتاب «الرياضيات والخيال» عام 1940.

Hawking radiation

إشعاع هوكينج: هو إشعاع حراري تتنبّأ الفيزياء بأنّه يصدر عن الثقوب السوداء نتيجة لظواهر كمّية. سمّي هذا الإشعاع نسبة لستيفن هوكينج الذي برهن نظريًّا على وجود هذه الإشعاعات سنة 1974. حيث تنبّأ بأنّ الثقوب السوداء لها حرارة محدودة وليست صفرًا. و يعتقد أنّ إشعاع هوكينغ هو ما يتسبّب في تقلّص الثقوب السوداء واضمحلالها. بعكس الفيزياء التقليدية فإنّ ميكانيكا الكمّ لا تفترض أنّ الفراغ «فراغ لا يحتوي على شيء» وإنّما هو حالة معقّدة يتأرجح فيها الفراغ . ويفترض في ذلك أنّ التأرجح الفراغي يتكوّن من جسيمات افتراضية حيث يظهر فجأة جسيم ونقيض الجسيم طبقًا لمبدأ عدم اليقين لهايزنبرج لفترة زمنية قصيرة جدًّا جدًّا ثم يختفيان. كما يشكّل أفق الحدث للثقب الأسود منطقة يحدث فيها إنتاج زوجي لجسيمات افتراضية واختفاؤها كثيرًا. تنشأ فجأة تلك الجسيمات المزدوجة الافتراضية وتكون ـ طبقًا لقانون بقاء الطاقة ـ طاقة جسيم موجبة أمّا نقيضه فتكون طاقته سالبة. ونظرًا لكون شدّة الجاذبية للثقب الأسود بالغة الكبر فمن الممكن أن تحتوي على جسيمات حقيقية ذات طاقة سالبة. وعلى ذلك فمن الممكن أن يسقط جسيم افتراضي ذو طاقة سالبة في الثقب الأسود ويصبح فيه جسيمًا حقيقيًّا أو نقيض جسيمٍ حقيقي. تؤدّي تلك الحالة إلى انفصال الجسيم عن نقيضه عند أفق الحدث قبل أن يفني كلّ منهما الآخر. ويسقط أحدهما في الثقب الأسود بينما يسوح الجسيم الآخر كجسيم حقيقي في الفضاء وقد يترك نطاق الثقب الأسود. ويفقد الجسيم الحقيقي الساقط في الثقب الأسود طاقة الوضع وهي تكون كافية لتوليد ازدواج جديد وكافية لإطلاق الجسيم الآخر لكي يغادر حقل الجاذبية للثقب الأسود .طبقًا لمعادلة أينشتين لتكافؤ الطاقة والمادّة ($E=mc^2$ حيث E الطاقة، وm كتلة المادّة وc^2 مربّع سرعة الضوء في الفراغ) فتكون الطاقة متناسبة طرديًّا مع الكتلة. فإذا اكتسب الثقب الأسود طاقة سالبة فيفقد بسبب ذلك جزءًا من كتلته وتشكّل الجسيمات الحقيقية التي تهرب من الثقب الأسود ما يسمّى بإشعاع هوكينج . ونظرًا لأنّ هذا الافتراض يمكن أن ينطبق أيضًا على الفوتونات فيمكن أن

يحتوي إشعاع هوكينج على طيف مستمرّ من موجات كهرومغناطيسية مختلفة في أطوال موجاتها ونظرًا لأنّ انحناء الزمكان يكون شديدًا بالقرب من الثقب الأسود فإنّ تقلّبات الفراغ هناك تكون شديدة أيضًا، وتكون هذه ظاهرة مهمّة بالنسبة إلى الثقوب السوداء القليلة الكتلة نسبيًّا. وتكون أبعاد الثقوب السوداء ذات كتلة صغيرة نسبيًّا، ويكون أفق الحدث لها وكذلك الزمكان المحيط بها شديدي الانحناء. أي أنّه كلّما زادت كتلة الثقب الأسود، قلّ ما يخرج منه من أشعة، وكلما قلت كتلة الثقب الأسود، كان معدل تبخّره سريعًا.

Hitchhiker

المسافر العابر: هو الشخص الذي يسافر مجانًا عن طريق توقيف السيارات على الطرق السريعة، ويطلق على بعض الكائنات الدقيقة التى يعتقد أنّها تجوب الكون وتقوم بوضع مادّتها الوراثية في كائنات أخرى. وأشهر نموذج لذلك DNA الميتكوندريا مثلًا.

Hologram

التصوير التجسيمي: نوع من التصوير يمتلك خاصّية فريدة تمكّن من إعادة تكوين صورة الأجسام بأبعادها الثلاثة. وتتمّ تلك العملية بستخدام أشعة الليزر. ويُعَدُّ الليزر أنقى ضوء عرفه الانسان؛ فلكلِّ موجات الليزر التواتر ذاته. وهكذا فعندما يلتقي شعاعا ليزر، يولِّدان شبكة تداخُل معقّدة؛ ويمكن تسجيل هذه الشبكة على لوحة تصوير. وهذا التسجيل هو ما يسمّى التصوير التجسيمي. ولكي نرى الصورة التي سُجِّلَتْ على هذه اللوحة لا بدَّ من أن نسلِّط شعاع ليزر مماثل للذي استخدمناه على اللوحة ذاتها؛ وعندئذٍ يظهر الجسمُ المصوَّر على بُعد صغير من اللوحة ويبدو ثلاثي الأبعاد. ولعل أغرب ما في التصوير التجسيمي هو أنّه لو كسرنا اللوحة فإن كلَّ كِسْرة منها يمكن لها أن تعطي الصورة بكاملها (وتتشوَّش الصورة إذا صارت الكِسْرات دقيقة). وتعود جذور هذه التقنية إلى العام 1947 عندما تمّ التوصل للتصوير المجسّم من قبل العالم دينيس جابور في محاولة منه لتحسين قوّة التكبير في الميكروسكوب الإلكتروني... ولأنّ موارد الضوء في ذلك الوقت لم تكن متماسكة أحادية اللون، فقد أسهمت في تأخّر ظهور التصوير المجسّم إلى وقت ظهور الليزر عام 1960 .التصوير التجسيمي يمكن تطبيقه على مجموعة متنوّعة من الأغراض مثل تسجيل الصور، لاستخدامها في الترويج للتجارة، ومنع التزوير باستخدام شريط مجسّم مطبوع على ظهر بطاقات الائتمان، أو وضع العلامات التجارية على أغلفة السلع .وتستخدم فكرة التصوير التجسيمي في العديد من الأفلام مثل سلسلة حرب النجوم.

Hubble bubble

فقاعة هابل: فقّاعة من الغاز التقط صورتها مؤخّرًا تليسكوب الفضاء هابل. وقد نتجت الفقّاعة عن انفجار سوبر نوفا منذ 400 سنة مضت، وتقع الفقّاعة في المجرّة المجاورة لسحابة ماجلان الكبرى، على بعد 160 ألف سنة ضوئية عن الأرض. ويبلغ قطرها 23سنة ضوئية، ولا تزال تتوسّع في الفضاء بسرعة 18 مليون كيلومتر في الساعة. وتليسكوب هابل هو أول تليسكوب يدور حول الأرض وقد أمدّ الفلكيين بأوضح وأفضل صور للكون على الإطلاق بعد طول معاناتهم من التليسكوبات الأرضية. وقد بدأ مشروع بناء التليسكوب عام 1977، وأطلق إلى الفضاء في إبريل من عام 1990، وسمّي على اسم الفلكي إدوين هابل، ويقع خارج الغلاف الجوي للأرض على بعد 593 كيلومترًا فوق مستوى سطح البحر.

Information theory

نظريّة المعلومات: إحدى تخصصات وفروع الرياضيات التطبيقية التي تتضمّن تحويل البيانات إلى قيم كمية بهدف تمكين نقل أو تخزين البيانات ضمن وسط ما أو نقلها عبر قناة اتّصال ما بأكبر قدر ممكن. وتتضّمن تطبيقاتها ضغط البيانات وتشفير قنوات نقل البيانات وسعاتها وخطوط الإنترنت فائق السرعة وعلوم الكمبيوتر والفيزياء وبيولوجيا الأعصاب والهندسة الكهربائية. وكانت تطبيقاتها أساسية فى نجاح مهمّات مركبة فوياجير الفضائية، واختراع الأقراص المدمجة، وتطبيقات الهاتف المحمول، وتطوّر الإنترنت وحتّى دراسة اللسانيات والاستشعار الإنساني، وأيضًا فهم ظاهرة الثقوب السوداء وغيرها من الحقول والتطبيقات العلمية.

Interference pattern

شكل التداخل: هو ظاهرة فيزيائية تحدث بين الموجات المقترنة. فيحدث بين هذه الموجات تداخل نتيجة صدورهما من مصدر واحد أو تقاربهما في قيمة التردّد. ويكون هذا التداخل إمّا تداخل هدّام أي أنّ الإشارة الأولى تدمّر الأخرى وتوهنها ويكون ذلك حين تكون إزاحة الطور 180 درجة، فحينها تكون الموجة المشكّلة صفرية المطال. ويمكن أن يكون تداخلًا بنّاء، أي أن تعزز الواحدة الأخرى ويشكّلان موجة ثالثة مضاعفة المطال ويكون ذلك عندما يكون للموجتين نفس طور الموجة. والقانون الذي يحدّد مقدّمة الموجة الناتجة ينصّ على أنّ قيمة الموجة الناتجة عند نقطة معيّنة يساوي الجمع المتجهي لقيم كلّ الموجات عند نفس النقطة.

Interferometer

مقياس التداخل: قياس التداخل هو تقنية خاصّة بدراسة خواصّ موجة أو موجات عن طريق تعيين التداخل الذي يحدث عند انطباق موجتين أو أكثر على بعضها. ويسمّى الجهاز الذي يقوم بتعيين تداخل الموجات بمقياس التداخل، ولدراسة التداخل أهمية خاصّة في فروع متعدّدة من علم الفلك، وتقنية الألياف الضوئية، وفي هندسة القياس، والقياس الضوئي، وفي علوم البحار، وفي علم الزلازل والهزّات الأرضية، وفي ميكانيكا الكمّ وفي الفيزياء النووية وفي فيزياء الجسيمات الأولية، وفي فيزياء البلازما، وفي الاستشعار عن بعد.

Knight problem

مسألة حصان الشطرنج: هي مسألة رياضية قديمة، أساسها تمرير قطعة الحصان طبقًا لقواعد لعبة الشطرنج مرّة واحدة فقط من كلّ خانة على رقعة تشمل عددًا من الخانات .بالنسبة للرقعة العادية (8 ✕8) ينجز الحصان 63 نقلة لحلّ المسألة. بحث العديد من الرياضيين لإيجاد حلٍّ لهذه المسألة الرياضية، بما في ذلك الرياضي أويلر. وجدت العديد من الحلول لهذه المسألة، لكن لا أحد يعلم على وجه اليقين كم عدد الطرق المختلفة التي تحلّها. طوّر علماء الرياضيات نسخًا أخرى من هذه المسألة وأضافوا بعض الاختلافات مثل أن تكون خانة الانطلاق هي نفسها خانة الوصول.

Law Boyle’s

قانون بويل: هو أحد قوانين الغازات والتي على أساسها تمّ اشتقاق قانون الغاز المثالي. قام العالم روبرت بويل بتثبيت درجة حرارة الغاز وقام بقياس تغيّر حجم الغاز بتغيّر ضغطه واكتشف أنّ هناك علاقة تناسب عكسي بين الضغط والحجم .بمعنى أنّه إذا زاد الضغط قلّ الحجم بنفس النسبة،

وكلّما زاد الحجم، قلّ الضغط وذلك مع الاحتفاظ بدرجة حرارة ثابتة. تصاغ تلك العلاقة كالآتي: عند درجة حرارة ثابتة، عندما يتغيّر ضغط كمّية معيّنة من غاز يتناسب الحجم عكسيًّا مع تغيّر الضغط.

Loop quantum gravity

أنشوطة الجاذبية الكمية: هي إحدى النظريات التي تحاول تقديم تصوّر كمّي للزمكان يجمع بين نظريتين متناقضتين حتّى الآن هما نظرية الكمّ والنسبية العامة لآينشتين. وهي إحدى أفراد مجموعة من النظريات تدعى نظريات الجاذبية الكمّية تسعى جميعها لتقديم نظرية أعمّ تشمل النظريتين المتناقضتين.

Luminiferous ether

الأثير المضيء: فى أواخر القرن التاسع عشر كان يفترض أن الأثير المضيء هو الوسط الذى ينتشر فيه الضوء. وقد ثبت خطأ هذا الفرض بعد ظهور نظرية النسبية ونظرية الكمّ.

Maxwell’s demon

عفريت ماكسويل: هو تجربة تفكير أوجدها الفيزيائي الأسكتلندي جيمس كلارك ماكسويل» لإثبات أن القانون الثاني الخاص بالديناميكا الحرارية ذو حقيقة إحصائية فقط». فتوضّح التجربة الافتراضية وجهة نظر ماكسويل عن طريق وصف كيفية نقض القانون الثاني. وتعتمد التجربة على تقسيم وعاء متخيّل إلى جزئين عن طريق جدار عازل، يحوي الجدار بابًا يمكن فتحه وإغلاقه بواسطة ما أطلق عليه لاحقًا «عفريت ماكسويل». يستطيع العفريت الافتراضي أن يسمح لجزيئات الغاز «الساخنة» فقط بالتدفّق إلى جانب مفضل من الغرفة ممّا يسبب ارتفاع حرارة ذلك الجانب تلقائيًّا فيما يبرد الجانب الآخر.

Michelson interferometer

مقياس تداخل ميكلسون: هو المقياس الأكثر شيوعًا لقياس تداخل الضوء اخترعه ألبيرت إبراهام ميكلسون. ويتكوّن شكل التداخل بانقسام أشعّة الضوء إلى مسارين، ثم يعاد تجميعهما بعد ذلك. قد يكون للمسارات المختلفة أطوالًا مختلفة أو تتكوّن من موادّ مختلفة لخلق حدود التداخل على مستقبل خلفي. وقد استخدم ميكلسون وإدوارد مورلي هذا المقياس فى تجربتهم الشهيرة التي فشلت في اكتشاف رياح الأثير المزعومة على سرعة الضوء وهو ما ألهم آينشتين لاكتشاف نظرية النسبية الخاصّة.

Micron

ميكرون: يسمّى أحيانًا ميكرومتر وهو وحدة طول في النظام الدولي للوحدات تعادل جزءًا من مليون من المتر، 1 ميكرومتر = 01 -6 من المتر، ويرمز إليه بـ μm.

Microtubules

الأنيبيبات المجهرية: هي من مكوّنات هيكل الخليّة، هذه البوليمرات الأسطوانية المكوّنة من بروتين التيوبيولين يمكنها النموّ بطول قد يصل إلى 25 ميكرومتر وهي مرنة بشكل كبير. ويبلغ قطرها الخارجي حوالي 25 نانومتر. وهي هامّة في الحفاظ على تركيب الخلية وتتيح النقل داخل

الخلية. وهناك العديد من البروتينات المرتبطة بالأنيبيبات المجهرية تشمل بروتينات الحركة الضرورية لتعديل شكلها.

Millisecond

ميللى ثانية: هي وحدة زمنية تستخدم كثيرًا للتوقيت في الرياضيات، وتساوي جزءًا من ألف جزء من الثانية. 1 ميللي ثانية = 10 -3 يبلغ عدد الميللي ثانية في اليوم الواحد 86400000 ميللي ثانية.

Mitochondria

ميتوكوندريا: هي أحد العضيات داخل الخلايا الحيوانية والنباتية يبلغ طولها بضعة ميكروميترات وعرضها يتراوح من 0.5 ميكرومتر إلى 1 ميكرومتر ويحيط بها غشاءان متراكبان، وهى مسئولة عن توليد الطاقة في داخل الخلية.

Muon

ميون: من الحرف اليوناني مو (μ) وهو جسيم أولي مشابه للإلكترون بشحنة كهربائية سالبة ودوران مغزلي ½، وهو جسيم دون ذري غير مستقرّ من عائلة الليبتون بثاني أكبر متوسط عمر (2.2 ميكروثانية) بعد النيوترون (~15 دقيقة)، ومثل جميع الجسيمات الأولية هناك جسيم مضادّ للميون يحمل شحنة موجبة لكن كتلة ودوران مماثلين ويسمّى الميون المضادّ (أو الميون الموجب). ويرمز للميون بـ μ والميون المضادّ بـ μ+. كان الاسم الشائع للميون هو الموميزون برغم عدم تصنيفه كميزون من قبل فزيائيي الجسيمات المعاصرين. تبلغ كتلة الميون 105.7MeV/c2 وهي تقارب 200 مرّة كتلة الإلكترون برغم ذلك فإنّ أهميّتها قليلة مقابل الإلكترون والنيوترينو.

Multiuniverse

متعدّد الأكوان: عبارة عن المجموعة الافتراضية المكوّنة من عدّة أكوان، بما فيها الكون الخاصّ بنا، وتشكّل معًا الوجود بأكمله. والوجود متعدّد الأكوان هو نتيجة لبعض النظريات العلمية التي تستنتج في الختام وجوب وجود أكثر من كون واحد، وهو غالبًا يكون نتيجة لمحاولات تفسير الرياضيات الأساسية في نظرية الكمّ بعلم الكونيّات. والأكوان العديدة داخل متعدّد الأكوان تسمّى أحيانًا بالأكوان المتوازية. وبنية متعدّد الأكوان، وطبيعة كلّ كون بداخله، والعلاقة بين هذه الأكوان ـ تعتمد على النظرية المتّبعة من بين عدّة نظريات. ومتعدّد الأكوان مفترض في علم الكونيّات والفيزياء والفلك والفلسفة واللاهوت والخيال العلمى. وقد تأخذ الأكوان المتوازية في هذا السياق أسماء أخرى كالأكوان البديلة أو الأكوان الكمّية أو العوالم المتوازية أو الوقائع البديلة أو خطوط الزمن البديلة، ...إلخ. تقول نظرية العوالم المتعدّدة بأنّ جميع الاحتمالات التي تطرحها نظرية الكمّ تحصل فعليًّا بنفس الوقت في عدد من العوالم المستقلّة المتوازية. وبالتالي يكون الكون المتشعب حتميًّا في حين أنّ كلّ كون فرعي لن يكون إلّا احتماليًّا. هناك أيضًا تفسير يعود إلى ديفيد بوم ويفترض وجود دالّة موجية عالمية غير محلّية تسمح للجزيئات البعيدة بأن تتفاعل مع بعضها بشكل فوري. اعتمادًا على هذا التفسير يحاول بوم أن يؤكّد أنّ الواقع الفيزيائي ليس مجموعة من الجسيمات المنفصلة المتفاعلة مع بعضها كما يظهر لنا بل هو كلّ واحد غير منقسم ذو طبيعة حركية متغيّرة دومًا. وتفيد هذه الفكرة الجذرية بوجود أكوان متوازية بالضبط شبه كوننا. كلّ هذه

الأكوان على علاقة بنا، في الواقع هم متفرعون منّا وكوننا متفرع أيضًا من آخرين، خلال هذه الأكوان المتوازية، حروبنا لها نهايات مختلفة عمّا نعرف. الأنواع المنقرضة في كوننا تطوّرت وتكيّفت في الآخرين. في أكوان أخرى ربّما نحن البشر أصبحنا في عداد المنقرضين.

Nanometer

نانومتر: هو وحدة لقياس الأطوال، تستعمل لقياس الأطوال القصيرة جدًّا ومقدارها جزء من مليار جزء من المتر، 1 نانومتر = 10-9 من المتر. ولها استخدامات كثيرة في الفيزياء والكيمياء. فتستخدم هذه الوحدة لقياس الأطوال الصغيرة جدًّا وهي غالبًا ما تكون من أبعاد الذّرة، يرمز لها بـnm. ويستخدم مصطلح نانو حاليًّا من أجل الدلالة على اختصاصات التقنية التي تعمل ضمن هذا المجال والتي تسمّى تقنية النانو والتي غالبًا ما تكون في كيمياء السطوح أو صناعة شبه الموصلات. تستخدم هذه الوحدة أيضًا لوصف أطوال الموجة في المجال المرئي الذي يتراوح بين 400 - 700 نانومتر.

Nanosecond

نانوثانية: تساوي واحد من مليار من الثانية، 1 نانو ثانية = 10-9 من الثانية.

Neuron

عصبونة: هي الوحدة العصبية الأساسية أو الخلية العصبية التي تكوّن بتشابكاتها مع عصبونات أخرى الألياف العصبية التي تكون بدورها الأعصاب، وتتألّف كلّ عصبونة من جسم الخلية الأساسي الذي يحوي جميع العضيّات الخلوية لكنّها تتميّز بامتلاكها لتشعُّبات عديدة تصلها بغيرها من العصبونات، كما تمتلك تفرّعًا وحيدًا طويلاً مدعّمًا بغلاف صُلب يدعى محور العصبونة. والعصبونة تتكوّن من الجسد والمحوار، وجسم الخلية يحتوي على نواة الخلية ويبرز من سطحها تغصنات أو تشعُّبات للخارج لها علاقة باستقبال أو نقل الإشارات الكهربائية. ويستقبل جسم العصبونة الإشارات الكهربائية (العصبية) من العصبونات الأخرى عن طريق التغصنات من عصبونة خلية أخرى أو من محور عصبونة آخر عن طريق المشابك، والمشبك هو عبارة عن فضاء عند التقاء غصن عصبونة أو محور عصبونة مع عصبونة خلية أخرى لنقل الإشارات الكهربائية عن طريق موادّ كيماوية تُسمّى النواقل العصبية. والنواقل العصبية عديدة، منها الاستيل كولين والأدرينالين والنورأدرينالين. ومحور العصبونة هو عبارة عن امتداد يخرج من جسم الخلية وينقل الإشارات الكهربائية من العصبونة. والمحور مُغلف من الخارج بصفائح المايلين (النُخاعين) وهو عبارة عن مادّة عازلة للمحور وضرورية لنقل الإشارات الكهربائية فيه، في الجهاز العصبي المركزي الخلايا الدبقية قليلة التغصنات هي المسئولة عن إنتاج النُخاعين، أمّا في الجهاز العصبي المُحيطي فخلايا شوان هي المسئولة عن إنتاج النُخاعين (المايلين).

Neutrino

نيوترينو: يعتبر جسيم أولي بكتلة أصغر كثيرًا من كتلة الإلكترون، وليست له شحنة كهربية. حتّى الآن لم ينجح العلماء في قياس كتلة النيوترينو لأنّ تفاعله مع المادّة ضعيف جدًّا. وقد اضطّر العلماء لاستنباط وجود النيوترينو بسبب ظاهرة تحلّل بعض النظائر المشعّة عن طريق إطلاق أشعّة بيتا التي هي عبارة عن إلكترونات. فعند تحلّل العنصر المشعّ إلى عنصر آخر يحدث فقدًا

معيّنًا في الطاقة، هذا الفقد في الطاقة عبارة عن الفرق بين طاقة العنصر المشعّ وطاقة العنصر الناتج. والمفروض لاحترام قانون عدم فناء الطاقة أن يحمل الإلكترون المنطلق من نواة الذرّة والخارج علي هيئة شعاع من أشعة بيتا أن يحمل هذا الفرق في الطاقة، ولكن القياسات تبيّن أنّ الإلكترون يحمل طاقة أقلّ من الطاقة المفروضة خلال التحلّل، لهذا افترض العالم الأمريكي فولفجانج باولي عام 1930 وجود جسيم صغير يحمل تلك الطاقة الناقصة التي لا نراها وأطلق عليه اسم نيوترينو حيث إنّه لا يحمل شحنة كهربائية. استغرق العلماء وقتًا طويلًا حتّى استطاعوا اكتشاف النيوترينو بأصنافه الثلاثة كما أنّ الاكتشافات تمّت على مراحل بدأت في الستينيات وانتهت أواخر العام 2000. من المعتقد أنّ حوالي 50 ترليون نيوترينو شمسي تخترق الجسم البشري كلّ ثانية. وفي أواخر سبتمبر 2011 صرح علماء عن نتائج تجارب استمرّت بضع سنوات تأكّد خلالها أنّ سرعة النيوترينات من نوع ميون أكبر قليلًا من سرعة الضوء الأمر الذي قد يعيد صياغة قوانين النسبية والفيزياء الحديثة لكن تجارب أعيدت بعد انتقاد من قبل بعض علماء آخرين بيّنت أنّ هناك شكوكًا حول ظروف التجربة.

Nibble

نيبل: في لغة الكمبيوتر، هي تجمّع من أربعة بايتات وبالتالي يكون لدينا 16 قيمة ممكنة لذا فإنّ النيبل يتطابق مع الأرقام العشرية ذات الستّة أعداد لذلك يشار إليه عادة على أنّه «ستّة أرقام» والنيبل عبارة عن بايت صغير، والذي توضح في هذا السياق على أنّه «نصف بايت». والتهجئة البديلة لهذه الكلمة «nibble» تعادل تهجئة كلمة «byte». وتستخدم كلمة نيبل لوصف كمّ الذاكرة المستخدم لتخزين رقم من عدد مخزّن في صيغة عشرية مجمّعة في الإطار الرئيس لـIBM، وتستخدم هذه التقنية في جعل العمليات الحسابية أسرع وتصحيح الأخطاء بصورة أسهل. يتمّ تقسيم البايت ذي الثماني أجزاء إلى النصف وتستخدم كلّ نيبل لتخزين رقم واحد. لاحظ أيضًا أنّ مصطلح «بايت» يحيط به نفس الغموض، ففي وقت ما كانت بايت تعني مجموعة من الأجزاء والتي ليس بالضرورة أن تكون ثمانية. أمّا اليوم فإنّ المصطلح «بايت» والمصطلح «نيبل» يشيران إلى مجموعات من 8 أجزاء وأربعة أجزاء على التوالي وغالبًا ما لا تستخدم لأيّ أحجام أخرى.

Parapsychology

باراسيكولوجي: هو علم يعنى بدراسة علمية لحدوث حالات إدراك عقلي أو تأثيرات على الأجسام الفيزيائية دون تماسّ مباشر معها أو اتّصال عن طريق وسيلة فيزيائية معروفة. في الوقت الذي بيّنت فيه تجارب من قبل بعض الباراسيكولوجيين بأنّ هناك بعض القدرات الباراسيكلوجية، إلّا أنّه لم يتمّ الاعتراف بوجود هذه الأدلّة أو التجارب من قبل المجتمع العلمي. ويتألّف مصطلح الباراسيكولوجي «ما وراء علم النفس» أو علم النفس الموازي من شقّين أحدهما البارا (Para) ويعني قرب أو جانب أو ما وراء، أمّا الشقّ الثاني فهو سيكولوجي (Psychology) ويعني علم النفس. وكان الفيلسوف الألماني ماكس ديسوار عام 1889م أول من استخدم هذا المصطلح ليشير من خلاله إلى الدراسة العلمية للإدراك فوق الحسي والتحريك النفسي «الروحي» والظواهر والقدرات الأخرى ذات الصلة. وللباراسيكولوجي موضوع يدرسه وهو القدرات فوق الحسية الخارقة كالتخاطر والتنبّؤ والجلاء البصري والاستشفاء وتحريك الأشياء والتنويم الإيحائي المغناطيسي وخبرة الخروج من الجسد...إلخ. ومازال الإثبات العلمي لهذه الأبحاث محلّ نزاع

وجدال ونقد، وغالبًا ما يشار لهذا من قبل المشكّكين بأنّه أحد العلوم الكاذبة لكن المؤمنين بالبارسايكولوجي يرفضون هذا الاسم باعتبار أنّ عددًا من المعاهد والمخابر الأكاديمية يجرون أبحاثًا حول هذه المواضيع وعدد من الشخصيات العلمية المرموقة كانت تعتقد أن هذا الاختصاص جدير بالتحليل والمتابعة.

Particle accelerator

معجل الجسيم: هو جهاز يستخدم المجالات الكهرومغناطيسية لتعجيل جسيمات الشحنات الكهربائية إلى سرعات عالية ولتحديدها في أشعّة موجّهة. أجهزة التلفزيون المبنيّة على أنبوب الأشعة المهبطية تستخدم معجل سرعة بسيط. يوجد نوعان من معجّلات السرعة: المعجلات الخطّية أو المستقيمة والمعجّلات الدائرية. ويشار إلى المعجّلات المستخدمة كمصادمات للجسيمات بمحطّمات الذرّة.

Phoneme

الفونيمة: أصغر وحدة أساسية في الدراسة الصوتية الحديثة لأيّة لغة بشرية يعيّن بها معنى الكلمة.

Photoelectric

كهروضوئى: الظاهرة الكهروضوئية هي انبعاث الإلكترونات من بعض الموصلات عند سقوط الضوء عليها وقد حيّرت هذه الظاهرة العلماء على اعتبار أنّ الضوء عبارة عن جسيمات كما قال نيوتن. إلّا أنّ الضوء له خاصّية الحيود - وهي خاصّية للموجات - والتي لا تنطبق على الجسيمات ثم جاء العالم هايجنز وفسر الضوء على أنّه عبارة عن موجات كي يفسّر ظاهرة حيود الضوء. ثم جاء آينشتين وأجرى تجربة أسقط فيها أشعّة ضوئية على مادّة فوجد أنّ بعض الإلكترونات قد تحرّرت من المادّة. وبعد دراسته لما يحدث قام آينشتين بتعريف الضوء على أنّه جسيمات ذات كتلة مساوية للصفر وسميت فوتونات. أي أنّ الفوتونات تسلك سلوك الموجات أثناء حركتها ممّا يفسر ظاهرة الحيود، وعند اصطدامها بجسيمات مادّة موصلة أخرى تنتقل طاقة الفوتونات إليها على هيئة كمات من الطاقة تساعدها على التحرّر من قيود المادّة.

Photon

الفوتون: هو جسيم أولي، والكمّ للضوء وجميع الأشكال الأخرى للإشعاع الكهرومغناطيسي، والحامل للقوّة الكهرومغناطيسية. تسهل ملاحظة تأثيرات هذة القوّة في كلا المستويين الدقيق والكبير، بسبب انعدام الكتلة الساكنة للفوتون الذي يسمح بالتآثر والتفاعل في المسافات الطويلة. كما هو حال كلّ الجسيمات الأولية، تقدّم ميكانيكا الكمّ حاليًا أفضل تفسير للفوتونات، وللفوتونات خاصية ازدواجية موجة - جسيم، مظهرة خصائص كلٍّ من الموجات والجسيمات حيث يمكن للفوتون الواحد الانكسار بواسطة العدسات و التداخل، ومن الممكن تصرّفه كجسيم معطيًا نتيجة محدّدة عند قياس وتحديد موضعه، ويختصّ بكونه معدوم كتلة السكون، ومعدوم الشحنة الكهربائية، بالإضافة لكونه يتنقل في الفراغ بسرعة الضوء. وقد طور ألبرت آينشتين تدريجيًّاً المفهوم الحديث للفوتون لتفسير الملاحظات التجريبية الغير مطابقة لنموذج موجة الضوء التقليدي، حيث علّل نموذج الفوتون على وجه الخصوص اعتماد طاقة الضوء على تردّده، وفسّر قابلية المادّة والاشعاع ليكونا في حالة توازن حراري. كما علّل النموذج الحديث للفوتون الملاحظات الشاذّة لخصائص

إشعاع الجسم الأسود. وقد تحقّقت التجارب اللاحقة من صحة فرضية آينشتين بأنّ الضوء هو نفسه مكمّم وأن الفوتونات هي كمّ الضوء. في النموذج العياري لفيزياء الجسيمات، وصفت الفوتونات كنتيجة ضرورية للتماثل التامّ لقوانين الفيزياء في كلّ نقطة من الزمكان. خصائص التناظر القياسي هذا تحدّد الخصائص الجوهرية للفوتونات كالشحنة والكتلة واللف المغزلي وقد أدّى نموذج الفوتون إلى تقدّم هائل في مجال الفيزياء النظرية والتجريبية، كالليزر ونظرية الحقل الكمومي، وقد تمّ تطبيقه على الكيمياء الضوئية، والمجاهر عالية الوضوح، وقياسات المسافات الجزيئية. وحديثًا تمّ دراسة الفوتونات بوصفها عناصر من أجهزة الكمبيوتر الكمّي والتطبيقات المتطوّرة في الاتصالات البصرية مثل التشفير الكمّي.

Pixel

البكسل: هو أصغر عنصر منفرد في مصفوفة صور نقطية أو في عتاد توليد صور، أي أنّه أصغر ما يمكن تمثيله و التحكّم في خصائصه من مكوّنات الصورة على الشاشات بتقنياتها المختلفة، و أصغر ما يمكن مسحه و تخزين بياناته في الماسحات الضوئية، أو في الكاميرات الرقمية. وتعمل زيادة عدد البكسلات المكوّنة للصورة على زيادة دقّتها.

Quantum computer

كمبيوتر كمّي: هو أي وسيلة تعتمد على مبادئ ميكانيكا الكمّ وظواهرها مثل التراكب الكمّي والتشابك الكمّي للقيام بمعالجة البيانات في الكمبيوترات التقليدية حيث تقاس كمّية البيانات بالبتة، أمّا في الكمبيوتر الكمّي فتقاس كمّية البيانات بالكيوبتة. والمبدأ الأساسي للكمبيوتر الكمّي هو القدرة على الاستفادة من الخواصّ الكمّية للجسيمات لتمثيل البيانات ومعالجتها، إضافة لاستخدام قواعد ميكانيكا الكمّ لبناء وتنفيذ التعليمات والعمليات على هذه البيانات. ويمثّل تحليل الأرقام الكبيرة إلى عواملها الأولية تحدّيًا لعلماء الرياضيات. فمثلاً لتحليل رقم يتكوّن من 230 رقمًا ستتطلّب هذه العملية وقتًا يقاس بملايين السنين عن طريق أحدث الكمبيوترات الكلاسيكية. وربّما تمثّل كمبيوترات الكمّ حلًّا لمثل هذه المعضلات. ففي العام 1994 أعلن عالم الرياضيات بيتر شور عن اكتشافه لخوارزمية بسيطة لتحليل الأرقام إلى مكوّناتها الأولية بواسطة آلة حاسوبية تقوم على أسس فيزياء الكمّ. ومنذ ذلك الوقت استمرّت الأبحاث فى محاولةً تحقيق هذه الآلة (الكمبيوتر الكمّي). لذا لا بدّ أن يتكوّن الكمبيوتر الكمّي من مكوّنات إلكترونية صغيرة جدًّا تماثل الذرّات المنفردة حجمًا. وبالتالي ستخضع هذه المكوّنات ذات الأحجام الصغيرة جدًّا لقوانين ميكانيكا الكمّ موفيةً بذلك الشرط اللازم لعمليات الكمبيوتر الكمّي. ولهذا السبب يعتبر الكمبيوتر الكمّي جزءًا من تكنولوجيا النانو الحديثة التي تتعامل مع الأنظمة التي تحتوي على مكوّنات نانوية الأبعاد (أجهزة ذات حجم حوالي 1 نانو متر أي جزء من مليار جزء من المتر). والكمبيوترات الكمّية ما زالت تحت البحث وما زال الجدل قائمًا حول ما إذا كان إيجاد مثل هذه الكمبيوترات على أرض الواقع في المستقبل ممكنًا أم لا. وعلي كلّ حال فإنّ العمل علي الكمبيوترات الكمّية يستطيع إثراء فيزياء الكمّ الأساسية وفي الوقت نفسه يستطيع إثراء الأبحاث على مستوى القياس النانوي. في وقت قريب تمّ بناء كمبيوتر كمّي صغير يتكوّن من سبعة كيوبتات مثلت بواسطة سبعة مغازل نووية خمسة منها من نويات الفلور واثنتان من نويات الكربون في معامل آي بي إم وستانفورد. وبواسطة كمبيوتر السبع كيوبتات هذا أمكن الاستفادة من ميزة الحوسبة الكمّية الفريدة ـ قابلية التراكب ـ لقياس الأعداد الأولية المكوّنة للرقم 15 وهي 3 و5. ولكن تحليل الأعداد الكبيرة إلى عواملها

الأولية يتطلّب كمبيوتر ذا عدد أكبر من الكيوبتات، ويبقى هذا تحديًّا لبناء كمبيوتر كمّي حقيقى كبير.

Quantum theory

نظرية الكم: هى نظريّة فيزيائية أساسية جاءت كتعميم وتصحيح لنظريات نيوتن الكلاسيكية ودمجها بالحركة الموجية وخاصّة على المستوى الذرّي ودون الذرّي. تسميتها بميكانيكا الكمّ يعود إلى أهميّة الكم في بنائها (وهو مصطلح فيزيائي يستخدم لوصف أصغر كمّية يمكن تقسيم الأشياء إليها، ويستخدم للإشارة إلى كمّيات الطاقة المحدّدة التي تنبعث بشكل متقطّع، وليس بشكل مستمرّ). ظهرت النظرية الكمّية في بدايات القرن العشرين مثل النظرية النسبية لحلّ الإشكاليّات المطروحة من قبل النظرية الكلاسيكية مثل عدم التناسق بين التصوّر الموضوع حينها لشكل الذرّة، حيث كان يتمّ اعتبارها كمجموعتنا الشمسية بتمركز النواة في الوسط ودوران الإلكترونات حولها. غير أنّه وبإغفال الشحن الكهربائية التي تتحوّل بفعل الحركة السريعة للإلكترونات إلى طاقة كهرومغناطيسية تتبدّد طاقة الإلكترونات ممّا يجعلها تصطدم بالنواة في الأخير لنفاذ الطاقة ممّا يؤدّي إلى انهيار الذرّة وهذا غير صحيح لذا جاءت هذه النظرية لتعطي نموذجًا آخر لتكوين الذرّات. تقول النظرية الكلاسيكية أيضًا إنّ ألوان الطيف الذرّي يجب أن تغطي جميع الترددّات بنفس الشدّة، لكن الواقع يناقض ذلك بشدّة حيث تبدي الذرّات المختلفة أطيافًا خاصّة تتضمّن إصدار موجات ضوئية على تردّدات خاصّة ومحدّدة جدًّا. وتنشأ مشكلة أخرى عندما نتأمّل إشكالية الجسم الأسود «وهو جسم يمتصّ كامل الإشعاع الساقط عليه ليعيد إصداره» حيث فشلت كلّ المحاولات المستندة إلى الفيزياء الإحصائية التقليدية في توصيف إشعاع الجسم الأسود خصوصًا في التردّدات العالية حيث تبدي القوانين المتوقّعة انحرافًا كبيرًا عن الواقع وهذا ما عرف لاحقًا باسم الكارثة فوق البنفسجية. تأتي إشكاليات أخرى من التبصّر في طبيعة الضوء ففي حين يؤكّد نيوتن أنّ طبيعة الضوء جسيمية فهو مؤلّف من جسيمات صغيرة وتؤيّده في ذلك العديد من التجارب، نجد أنّ يونج يؤكّد أنّ الضوء ذو طبيعة موجية وتؤكّد تجارب يونج حول التداخُل الضوئي هذه الطبيعة الموجية. في عام 1923 اقترح لويس دو بروي أن ينظر إلى جسيمات المادّة وذرّاتها أيضًا على أنّها جسيمات تسلك سلوكًا موجيًّا أحيانًا. بدأت هنا تتّضح ملامح صورة جديدة للعالم تتداخل فيها الصورة الجسيمة والصورة الموجية للعناصر الدقيقة بحيث يصعب التمييز بينهما وكان هذا ما مهّد الطريق لظهور ميكانيكا الكمّ. وفي عام 1925 قام العالم الألماني هايزنبرغ بتقديم مبدئه في عدم اليقين الذي ينصّ على عدم قدرتنا على تحديد موضع وسرعة الجسيمات الكمّية في نفس الوقت وبدقّة متناهية. كانت هذه بداية سلسلة من الصدمات التي تلقتها نظرتنا الكلاسيكية للعالم والتي تحطّمت معها كلّ الصورة الميكانيكية الآلية التي سادت حول العالم بعد انتصارات فيزياء نيوتن المدوّية في القرنين السابقين. وفى عام 1926، ظهر شرودنغر بمعادلته الموجية الشهيرة التي تبيّن تطوّر دالّة موجة الجسيم الكمي مع الزمن وعرفت تلك الصياغة بالميكانيكا الموجية. تقوم النظرية الكمّية بتقديم تصوّر غريب عن العالم الذرّي ودون الذرّي يصدمنا ويبعدنا عن كل ما ألفناه في الواقع الحياتي وما تقدّمه الفيزياء الكلاسيكية من تصوّرات. لكنّها بالرغم من كلّ ذلك تنجح إلى حدّ بعيد في تفسير حقائق العالم دون الذرّي وتعزّز صحّتها يومًا بعد يوم بتقديم تنبّؤات غريبة لكن كلّ التجارب العلمية تأتي فيما بعد لتؤكّد هذه التنبؤات. كل هذا أدخل ميكانيكا الكمّ في عمق نقاشات فلسفية حول طبيعة ما تطرحه ومدى قربه من الحقيقة، حتّى إنّ ميكانيكا الكمّ طرحت

نفس قضية الحقيقة كموضع سؤال، ومن أهمّ هذه المناقشات والتجارب الفكرية «قطّة شرودنجر». وقد قدّمت عدّة وجهات نظر لتفسير نتائج واستنتاجات النظرية الكمومية: أول هذه النظريّات يعرف بتفسير كوبنهاجن ويعود بشكل أساسي إلى نيلز بور وزملائه، الذين يؤكّدون أنّ الطبيعة الاحتمالية لتنبّؤات نظرية الكمّ لا يمكن تفسيرها بأيّ نظرية حتمية أخرى، وهي صفة أصيلة في الطبيعة التي نعيش فيها وليست نتاجًا لنقص في المعرفة والمعلومات نعاني منه. باختصار النظرية الكمّية ذات طبيعة احتمالية لأنّ الطبيعة ذات طبيعة احتمالية أساسًا، على الطرف الآخر وقف آينشتين أحد مؤسّسي الكمّ ليعلن رفضه للاحتمية الكمّية التي تنشأ عن احتمالية القياسات، قائلًا «إنّ الإله لا يلعب النرد» (god doesn't play dice) كانت هذه العبارة الشهيرة بمثابة رفض قاطع لفكرة أن تكون للطبيعة أصالة احتمالية، مرجّحًا فكرة أنّ هناك نقصًا في المعلومات المتوفّرة لدينا يؤدّي إلى تلك الطبيعة الاحتمالية للنتائج وعليه فنظرية الكمّ ناقصة ينبغي إكمالها عن طريق تعويض النقص فى المعلومات. ظهرت بعد ذلك بعض التفسيرات التي تضاهي بغرابتها نتائج ونبوءات الكمّ مثل نظرية العوالم المتعدّدة لإيفريت وتفسير ديفيد بوم.

Quantum tunneling

التنفيق الكمي: هو ظاهرة تخلّل جسيم أولي لحاجز جهدي طبقًا لميكانيكا الكمّ، في حين أنّ الميكانيكا التقليدية لا تسمح له بالنفاذ حيث إنّ طاقته أقلّ من طاقة الوضع في الحاجز. وتلعب ظاهرة تخلّل الحواجز الكمّية دورًا رئيسيًا في بعض الظواهر الطبيعية مثل النشاط الإشعاعي وتحلّل بيتا وتحلّل ألفا. وتستغلّ عمليًّا في مجهر المسح النفقي وأجهزة معقّدة أخرى. ويعود تصوّر التخلّل النفقي للجسيمات إلى أوائل القرن العشرين، إلّا أنّ قبولها وإثباتها لم يتحقّق إلا فى أواسط القرن بعد نضوج ميكانيكا الكمّ. فإذا وضعنا حبّة من البازلاء في كوب، فطبقًا للميكانيكا الكلاسيكية لا يمكن للحبّة أن تخرج من الكوب إلّا إذا وصلت طاقة حركتها إلى حدّ تستطيع به عبور جدار الكوب فتخرج منه وتتحرّر. ولكن عند النزول إلى مستوى الجسيمات الصغيرة، مثل الإلكترون والبروتون وجسيمات ألفا نجد أنّ الطبيعة تتغيّر وتعطي الأشياء شيئًا من الحرية بحيث « تتخلّل» الجدار وتتسرّب إلى الخارج برغم أنّ طاقتها لا تكفي لعبور الجدار. أي تتصرّف الجسيمات كما لو كانت تحفر نفقًا في الجدار لتخرج منه. واستطاعت ميكانيكا الكمّ تفسير تلك الظاهرة. وقد بيّنت التجارب بعد ذلك أنّ تلك الظاهرة تنطبق أيضًا على إمكانية تسرّب الذرّات عن طريق الأنفاق الكمّية، تلك هي الطبيعة التي تحكم المادّة على المستوى الذرّي الصغير. وكان تصوّر الفيزيائيين في البدء لتفسير ظاهرة استطاعة الشحنات الصغيرة مثل جسيم ألفا الفرار من جهد النواة أنّها تتخلّل الحاجز الجهدي إلى الخارج، حيث إنّ طاقتها أقلّ من «ارتفاع» الجهد. (مثال من الميكانيكا الكلاسيكية ، نفترض حجرًا تحت جبل، ولكي يصل إلى الناحية الأخرى من الجبل لا بدّ وأن يحصل الحجر على طاقة أو سرعة تمكّنه من صعود الجبل والهبوط من الناحية الأخري) والتفسير الحديث يقول إنّه نظرًا لمبدأ عدم اليقين فإنّ جسيم ألفا برغم أنّ طاقته لا تكفي لتجاوز جهد النواة يوجد له احتمال صغير أن يحصل على طاقة أعلى من جهد النواة مدّة زمنية صغيرة، وأثناء تلك الفترة « يقفز» ويتعدّى جهد النواة ويخرج منها.

Quantumzeno effect

تأثير زينو الكمي: مصطلح صكّه جورج سودارشان وبايدياناث ميسرا فى عام 1977 أثناء تحليلهم للحالة التى لن يتحلّل فيها الجسيم غير المستقر أبدًا إذا تمّت ملاحظته باستمرار. إذ يستطيع

الواحد أن «يجمد» تطوّر النظام بقياسه بشكل متكرّر بما يكفي في حالته الأولية المعروفة. ومنذ ذلك الوقت اتّسع تعريف المصطلح ممّا أدّى لمزيد من التعريفات التقنية يمكن فيها أن يتمّ كبح تطوّر الزمن ليس فقط من خلال القياس: فتأثير زينو الكمّي هو كبح توحّد تطوّر الزمن الذى يسبّبه التفكيك الكمّي للأنظمة الكمّية الذي تعطيه مصادر متنوّعة مثل القياس والتفاعل مع البيئة والحقول السوكستائية وما إلى ذلك. ومع تنامي دراسة تأثير زينو الكمّي أصبح واضحًا أن إعطاء سلسلة من نبضات سريعة وقوية بما يكفي مع تناظر ملائم يمكنه أيضًا فصل النظام عن بيئته المتّسقة. وقد أتى الاسم من التناقض الظاهري لسهم زينو الذى يقول، لأن السهم المنطلق لا يرى متحرّكًا فى أيّة حالة مفردة، فإنّه لا يمكنه أن يكون متحرّكًا أبدًا. لأنّه في كلّ لحظة من طيرانه لا يكون إلّا في نقطة واحدة في الفضاء، أي أنّه يكون ساكنًا، وحركته منطقيًّا وميتافيزيقيًّا غير حقيقية مهما بدا للحواسّ أنّها واقعة فعلًا.

Quark

كوارك: جسيم أولي له كتلة ولكن أبعادها صفرية وأحد المكونين الأساسيين للمادّة في نظرية النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، المكوّن الآخر حسب هذه النظرية هو الليبتونات، تتمّ مشاهدتها عند حدوث تصادم شديد بين البروتون والإلكترون. وللكواركات جسيمات مضادّة مثل بقيّة الجسيمات الأولية تدعى «كواركات مضادة»، حيث تتميّز الكواركات والكواركات المضادّة بأنّها الجسيمات الوحيدة التي تتأثر مع بعضها باستخدام القوى الأربع الرئيسة الموجودة في الطبيعة. تشكّل الكواركات معظم الجزء الدخلي للمادّة، وهي مترابطة مع بعضها بقوى شديدة. هذه القوى التي تربط الكوارك بعضها مع بعض تدرس في فرع من الفيزياء يدعى الكروموديناميكا الكمّية. تجتمع الكواركات معًا لتشكّل جسيمات مركّبة تسمّى الهادرونات، والتى هي أكثر استقرارًا وهي البروتونات والنيوترونات، وهي مكوّنات نواة الذرّة. لا يمكن أن تظهر الكواركات بشكل مفرد حرّ فهي دائمًا محتجزة ضمن هادرونات ثنائية (ميزونات) أو ثلاثية (باريونات) مثل البروتونات والنيوترونات، وتسمّى هذه الظاهرة بالحبس اللوني، لهذا السبب فمعظم المعلومات عن الكواركات تمّ استخلاصها من ملاحظات الهادرونات نفسها. وللكوارك ستّ أنواع وتسمّى بالنكهات وهي: العلوي، السفلي، الساحر، الغريب، القمي، والقعري. كلّ من الكوارك العلوي والسفلي له كتلة أقلّ من باقي الكواركات الأخرى. فالكواركات الأثقل تتحوّل إلى علوية وسفلية بسرعة خلال عملية تسمّى اضمحلال الجسيم: حيث تتحوّل حالة الكتلة الأثقل إلى حالة كتلة أخفّ. لهذا فالكوارك العلوي والسفلي هما الأكثر استقرارًا ووجودًا في الكون، في حين أنّ الكواركات المسمّاة بالساحر والغريب والقمّي والقعري يتمّ إنتاجها فقط من خلال اصطدامات عالية الطاقة (مثل المستخدمة في الأشعة الكونية ومعجلات الجسيمات). لدى الكوارك خصائص أساسية مثل الشحنة الكهربائية والشحنة اللونية والدوران المغزلي والكتلة. فالكواركات هي الجسيمات الأولية الوحيدة في النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات التي تُظهِر جميع القوى الأساسية الأربع المسمّاة بالتفاعلات الأساسية وهي الكهرومغناطيسية والجاذبية والتأثير القوي والضعيف، بالإضافة إلى أنّها الجسيمات الوحيدة التي لا تعدّ شحنتها الكهربائية مضاعفات صحيحة للشحنة الأولية. كان ظهور نموذج الكوارك سنة 1964 بواسطة فرضية موري جيلمان وجورج سويج لشرح نماذج الهادرونات، وقد كان هناك دليل ضعيف على وجودها المادّي حتّى سنة 1968. تمّت ملاحظة جميع نكهات الكوارك الستّ

في تجارب المعجلات؛ وقد كان الكوارك القمّي هو آخر ما تمّ اكتشافه من الكواركات وذلك سنة 1995 عندما تمّت ملاحظته لأول مرّة في معهد فيرميلاب.

Qubit

كيوبتة: هى وحدة قياس المعلومات الكمّية المناظر الكمّي للبتة الكلاسيكية، وهى حالتان لنظام ميكانيكا كمّي مثل استقطاب فوتون واحد، فهنا الحالتان هما استقطاب رأسي أو أفقي. وفي النظام الكلاسيكي فإن البتة قد تكون فى حالة واحدة أو أخرى، لكن ميكانيكا الكمّ تسمح بأن تكون الكيوبتة فى حالة تطابق تراكب من كلا الحالتين في نفس الوقت وهي خاصية أساسية في الحوسبة الكمّية.

Qunit

الكيونت: هو نقد الإنترنت (1 كيونت = 1 دولار أمريكي) إذا كان لديك كيونتات فيمكنك الحصول على أى شيء من الإنترنت ونقل التمويلات إلى شخص آخر على الإنترنت تمامًا كما تفعل بالنقود الورقية. ومحلّات الإنترنت توجد في كلّ مكان على الشبكة العنكبوتية ويتزايد عددها بمرور الوقت.

Qutrit

كيوترتة: هي وحدة المعلومات الكمّية والتي قد تتواجد فى ثلاث حالات ممكنة. ومثل الكيوبتة فهي تناظر الترتة (trit) الكلاسيكية التي تساوي بتة ونصف تقريبًا.

Redundancy

الإسهاب: يعرف الإسهاب في علم نظرية المعلومات بأنّه عدد البتات التي تستخدم لنقل رسالة ناقص عدد البتات من المعلومات الفعلية في الرسالة. بتعريف آخر، هو كمّية الفراغ الضائع الذي يستخدم لنقل بيانات معينة. ويعتبر ضغط البيانات أحد الوسائل لتقليل الإسهاب غير المرغوب فيه أو التخلّص منّه. وفي علم اللغة فإنّ الإسهاب هو بناء جملة بها أفكار باستخدام المزيد من المعلومات عن طريق معاني متعدّدة غالبًا، بأكثر ممّا هو ضروري لفهم الفكرة.

Robot

الروبوت: يُسمّى بالعربية الإنسان الآلي أو الرجل الآلي، وهو آلة قادرة على القيام بأعمال مبرمجة سلفًا، إمّا بإيعاز وسيطرة مباشرة من الإنسان أو بإيعاز من برامج كمبيوتر. غالبًا ما تكون الأعمال التي يبرمج الروبوت على أدائها أعمالاً شاقّة أو خطيرة أو دقيقة، مثل البحث عن الألغام أو التخلّص من النفايات المشعّة، أو أعمالًا صناعية دقيقة أو شاقّة. ظهرت كلمة «روبوت» لأول مرّة عام 1920، في مسرحية الكاتب المسرحي التشيكي كارل تشابيك، حيث ترمز كلمة «روبوت» في اللّغة التشيكية إلى العمل الشاقّ، إذ إنّها مشتقّة من كلمة «Robota» التي تعني السُخرة أو العمل الإجباري، ومن هذا التاريخ، بدأت هذه الكلمة تنتشر في كتب الخيال العلمي وأفلامه التي قدّمت عبر السنوات عددًا من الأفكار والتصوّرات لتلك الآلات وعلاقتها بالإنسان، الأمر الذي كان من شأنه أن يفتح أفاقًا كبيرة للمخترعين ليبتكروا ويطوّروا ما أمكن منها.

Schrodinger’s cat

قطة شرودنجر: مفهوم قدّمه الفيزيائي النظري النمساوي إرفن شرودنجر، ليشرح من خلاله تصوّرًا مختلفًا عن تفسير كوبنهاجن في ميكانيكا الكمّ وتطبيقاتها اليوميّة. تخيّل شرودنجر تجربة ذهنية تمّ فيها حبس قطّة داخل صندوق مزوّد بغطاء, وكان مع القطّة عدّاد جيجر وكمّية ضئيلة من مادّة مشعّة بحيث يكون احتمال تحلّل ذرّة واحدة خلال ساعة ممكنًا. إذا تحلّلت ذرّة فان عداد جيجر سوف يطرق مطرقة تكسر بدورها زجاجة تحتوي حامض الهدروسيانيك الذي يسيل ويقتل القطّة فورًا. والآن يقف المشاهد أمام الصندوق المغلق ويريد معرفة هل القطّة حية أم ميّتة؟ (من وجهة نظر ميكانيكا الكمّ، توجد القطّة بعد مرور الساعة في حالة مركبة من الحياة والموت). وعندما يفتح المشاهد الصندوق يرى القطّة إمّا ميتة أو حية وهذا ما نتوقّعه في حياتنا اليومية، ولا نعرف حالة تراكب بين الحياة والموت. ولا نعرف تمامًا عمّا إذا كان شرودنجر يريد بيان انطباق ميكانيكا الكمّ أيضًا على الأجسام الكبيرة (القطّة) بفكرته هذه، أم أراد القول بعكس ذلك. فبتطبيق ميكانيكا الكمّ على نظام يجمع الذرّة (جسيم صغير) والقطّة (جسم كبير) تفترض ميكانيكا الكمّ تراكب موجتين: الأولى (الذرّة لا تتحلّل /القطّة حيّة) والدالّة الموجية للحالة الأخرى (الذرّة تتحلّل /القطّة ميتة). وتقول إنّه في لحظة فتح الصندوق والمشاهدة تنخزل تلك الحالة المتراكبة فورًا، فنرى القطّة إمّا حيّة وإمّا ميتة. ويروى عن ستيفن هوكنج أنّه قال: «إذا جاء إليّ أحد وأراد ذكر قطّة شرودنجر فسأرفع عليه بندقيّتي!!». موضوع التراكب معروف بالنسبة للذرّات، أمّا بالنسبة للقطّة، فإذا نظر ملاحظ خارجي إلى الصندوق بعد انقضاء الساعة فإنّه سيجد إحدى النتيجتين: القطّة ميتة، أو حيّة. لا توجد ملاحظة فيزيائية لجسم كبير معروفة تناظر حالة التراكب، أي أنّ حالة التراكب ليست حالة مميّزة أو ذاتية لأيّ كمّية واقعية يمكن تخيّلها ورصدها. ذلك أنّ الملاحظ لا يستطيع سوى التفريق بين حياة أو موت القطّة.

Silhouette

التصوير الظلّي: هو نوع من الفنون يعتمد على استعمال اللون الأسود على خلفية بيضاء لإظهار الحدود الخارجية للرسم أو الصورة. ويطلق عليه أحيانًا التصوير التضادّي لأنّه ينفذ بطريقة عكسية للإضاءة أو الرسم. سمّي هذا الفنّ (بالسلويت) نسبة إلى أحد الوزراء الفرنسيين الذى كان يصنع أشكالًا من الورق الأسود يقطعها بالمقص ثم يلصقها على ورق أبيض.

Singularity

المفردة: يقصد بها منطقة فى الزمكان حيث تتحطّم المعادلات الفيزيائية وتفقد معناها التنبُّوئي كما يراه بعض الملاحظين، وحيث لا يمكن امتداد انحناءات الزمن فى كلّ الزمكان، وأحد أنواع المفردات تكون الأشياء لانهائية. وهذا التعريف محدود حيث توجد حلول لمعادلات المجال لأينشتاين حيث لا توجد كمّيات لانهائية وحتّى إنّ الوصف الفيزيائى من خلال الرياضيات يصبح غير معرّفًا.

Spacetime

الزمكان: هو مصطلح حديث في الفيزياء حديث منحوت من كلمتي الزمان والمكان للتعبير عن الفضاء رباعي الأبعاد الذي أدخلته النظرية النسبية ليكون فضاء الحدث بدلًا من المكان المطلق الفارغ في الميكانيكا الكلاسيكية ونظرية الكمّ. في هذا الفضاء الرباعي الأبعاد تميّز كلّ نقطة برباعية (س، ع، ص، ز) حيث ترمز س، ع، ص إلى الإحداثيات المكانية ويرمز ز إلى الإحداثي

الزمني. فهو المزج بين الزمان والمكان في إطار واحد بحيث لا يتمّ الفصل بينهما عند إجراء الحسابات الفيزيائية. ظهرت هذه الأطروحة بواسطة عالم الفيزياء ألبرت أينشتاين في نموذجه عن النسبية الخاصّة. ظهرت الأطروحة لتحدّد مكان جسم ما في الفضاء الشاسع بطريقة أكثر تحديدًا بالاعتماد على عنصر الزمان بدلًا من الاعتماد على الثلاثة محاور للمكان فقط.

Special relativity

النسبية الخاصة: هي نظرية فيزيائية للقياس في إطار مرجعي ساكن اقترحها ألبرت آينشتين عام 1905 كبديل عن نظرية نيوتن في الزمان والمكان لتحلّ بشكلٍ خاصّ مشاكل النظرية القديمة فيما يتعلّق بالأمواج الكهرومغناطيسية عامّة والضوء خاصّة. وهي تدعى «خاصّة»؛ لأنّها تعالج حالة خاصّة تتعلّق بحركة المراجع (المختبرات) بنسبة بعضها لبعضٍ بسرعة منتظمة وفي خطّ مستقيم. تعمّم النسبية الخاصّة مبدأ النسبية لجاليليو جاليلي ـ الذي ينصّ على نسبية الحركة المنتظمة وعلى عدم وجود حالة سكون مطلق واضح (لايوجد إطارات مرجعية مميّزة «مطلقة») من الميكانيكا إلى جميع قوانين الفيزياء. تتضمّن النسبية الخاصّة مبدأ ثبات سرعة الضوء لجميع المراقبين مهما تكن حالة حركة مصدر الضوء. وللنسبية الخاصّة العديد من النتائج تمّ التحقّق منها تجريبيًّا، بما في ذلك تلك غير البديهية مثل تقلّص الأطوال، والإبطاء الزمني، ونسبية التزامن، مناقضة الفكرة التقليدية لتساوي الفاصل الزمني بين حدثين لجميع المراقبين، وتقدّم النسبية الخاصّة أيضًا «الزمكان» الثابت بدمج الأبعاد المكانية الثلاثة مع بعد زماني رابع. ويؤدّي دمج فرضي النسبية الخاصّة مع قوانين الفيزياء الأخرى إلى التنبّؤ بتكافؤ الكتلة والطاقة كما صيغ رياضيًّا في مكافئ الكتلة والطاقة E=mc2 حيث c هى سرعة الضوء في الفراغ. ويقتصر تطبيق النسبية الخاصة على زمكان مسطّح، وكما أنّ انحناء سطح الأرض غير ملحوظ في الحياة اليومية، يمكن إهمال انحناء الزمكان في المقاييس الصغيرة.

Spin

الغزل: هو دوران الجسيم الأوليّ حول نفسه وهي خاصّية جوهرية في الجسيمات الأولية جميعها وتمثّل ظاهرة ميكانيكية كمّية أصيلة لا وجود لمقابل لها في الميكانيكا الكلاسيكية, ويمكن تقريبها للذهن بتشبيهها بدوران الأرض حول نفسها إضافة لدورانها حول الشمس, فكذلك الإلكترون يدور حول نفسه ويدور حول النواة. ففي الميكانيكا الكلاسيكية ينشأ عزم الدوران من دوران مكوّنات وكتل داخلية أصغر لكن في ميكانيكا الكمّ يكون الغزل خاصّة جوهرية للجسيم لا تنشأ عن دوران مكوّنات داخلية. وباستثناء بوزون هيجز الافتراضي فإنّ الجسيمات الأولية وهي الفرميونات (كالإلكترونات) والبوزونات (كالفوتونات) لا يمكن أن تكون بدون غزل بالرّغم من كونها جسيمات نقطية غير مؤلّفة من مكوّنات أصغر منها. ويولّد الغزل الإلكتروني مجالًا مغناطيسيًّا الأمر الذي يجعل الإلكترون كالمغناطيس، ويغزل الإلكترون في اتجاهين فقطمع عقارب الساعة وعكس عقارب الساعة. ينشأ عن دوران الإلكترون حول النواة عزم زاوي، في المقابل ينشأ عن غزله عزم زاوي داخلي، ممّا يعنيأنّ العزم الزاوي الكلي = العزم الزاوي المداري + العزم الزاوي الداخلي.

Spin up and spin up

غزل لأعلى وغزل لأسفل: هو دوران الجسيم حول نفسه لأعلى أو لأسفل، مع عقارب الساعة أو عكسها.

Stellar aberration

الزيغ النجمى: ويقصد به في علم البصريّات فشل شعاع الضوء في أن يتركَّز بصورة جيّدة بعد مروره عبر عدسة أو انعكاسه من مرآة. يحدث التركيز التامّ عند تقاطع أشعّة الضوء في نقطة واحدة. وهناك نوعان من الزيغ الضوئي أو الانحراف: الزيغ الكروي والزيغ اللوني. وقد اكتشف جيمس برادلى هذه الظاهرة عام 1728م. ويحدث الزيغ الفلكي نتيجة توليفة بين حركة الأرض والمدّة التي يستغرقها الضوء القادم من نجم لكي يمرّ داخل تلسكوب. فإذا كانت الأرض ثابتة، فإنّ أيّ مراقب يمكن أن يوجه التلسكوب مباشرة إلى نجم بعينه. ولكن الأرض تتحرّك ويتحرّك التلسكوب لحظة مرور الضوء من الطرف الأعلى للتلسكوب إلى عدسته. ولذا فإن المراقب لا بدّ أن يُميل التلسكوب بصورة خفيفة حتّى تمرّ خيوط الأشعّة داخل عدسة التلسكوب بدلًا من أن تسقط داخله. ونتيجة لذلك فإنّ النجم يظهر في موضع ليس موضعه الحقيقي. وتسمّى زاوية الفرق بين هذين الوضعين زاوية الزيغ.

Stratosphere

الستراتوسفير: هو إحدى طبقات الجوّ العليا التي تعلو طبقة التروبوسفير وتمتدّ من ارتفاع 12 كيلومتر إلى نحو 50 كيلومتر فوق سطح البحر. وهي طبقة من الهواء الرقيق تجتاحها الرياح العاتية إذ ينساب في قاعدتها نهران من التيارات الهوائية يجريان حول معظم الكرة الارضية ويعرفان باسم تيارات الرياح المتدفّقة. والهواء في هذه الطبقة جافٍ وصافٍ وبارد، حيث إنّ درجة الحرارة فيه ثابتة حوالي -5°. ويتكوّن الغلاف الجوي للأرض، من الأرض إلى طبقة التروبوسفير التي تشمل طبقة حدود الكوكب أو بيبلوسفير كطبقة أدنى (الستراتوسفير، ميزوسفير، ثيرموسفير) التي تحتوي على طبقة الايونسفير وإكزوسفير وكذلك الغلاف المغناطيسى. كلّ طبقة من الطبقات لديها اختلاف في معدل الفاصل، والذي يعرف بأنّه معدّل التغيّر في درجة الحرارة مع الارتفاع. ثلاثة أرباع الغلاف الجوي تقع داخل التروبوسفير، وعمق هذه الطبقة يتراوح ما بين 17 كم عند خطّ الاستواء و 7 كم عند القطبين. طبقة الأوزون، والتي تمتصّ الطاقة فوق البنفسجية من الشمس، تقع في المقام الأول في طبقة الستراتوسفير، بارتفاع من 15 إلى 35 كيلومترا. خطّ كرمان، الذي يقع داخل الغلاف الحراري على ارتفاع 100 كم، يستخدم عادة لتحديد الحدود بين الغلاف الجوي للأرض والفضاء الخارجي. ومع ذلك، يمكن أن تمتدّ طبقة الإكزوسفير من 500 إلى 10,000 كيلومترا فوق السطح، حيث يتفاعل مع المجال المغناطيسي للكوكب.

String theory

نظرية الأوتار: هي مجموعة من الأفكار الحديثة حول تركيب الكون تستند إلى معادلات رياضية معقّدة. تنصّ هذه المجموعة من الأفكار على أنّ المادّة مكوّنة من أوتار حلقية مفتوحة وأخرى مغلقة متناهية في الصغر لا سمك لها وأنّ الوحدة البنائية الأساسية للدقائق العنصرية، من إلكترونات وبروتونات ونيترونات وكواركات، عبارة عن أوتار حلقية من الطاقة تجعلها في حالة من عدم الاستقرار الدائم وفق تواترات مختلفة وإن هذه الأوتار تتذبذب وتتحدّد وفقها طبيعة الجسيمات وخصائصها التي هي أكبر منها مثل البروتون والنيوترون والإلكترون. أهم نقطة في

هذه النظرية أنّها تأخذ في الحسبان قوى الطبيعة جميعها: الجاذبية والكهرومغناطيسية والقوى النووية، فتوحّدها في قوّة واحدة ونظرية واحدة، تسمّى النظرية الفائقة (M-Theory). وتهدف هذه النظرية إلى وصف المادّة على أنّها حالات اهتزاز مختلفة لوتر أساسي وتحاول هذه النظرية الجمع بين ميكانيكا الكم التي تفسّر القوى الأساسية المؤثّرة في عالم الجسيمات (القوّة النووية الضعيفة، القوّة الكهرومغناطيسية، القوّة النووية القوية) وبين النظرية النسبية العامّة التي تقيس قوّة الجاذبية في العالم على المستوى الأكبر ضمن نظرية واحدة والتي تقول بأنّ الكون هو عالم ذو عشرة أو أحد عشر بُعدًا، على خلاف الأبعاد الأربعة المحسوسة، وأنّ هنالك 6 أو 7 أبعاد أخرى، إضافةً لأبعاد العالم الثلاثة مع الزمن، غير محسوسة ومنطوية على نفسها. أمّا هذه النظرية الجديدة فتعتقد بأنّ الكون مكوّن من 26 بعدًا، أُختزلت فيما بعد إلى عشرة أبعاد. استنادًا إلى نظرية الأوتار الفائقة فإنّ الكون ليس وحيدًا، وإنّما هنالك أكوانًا عديدة متّصل بعضها ببعض، ويرى العلماء أنّ هذه الأكوان متداخلة ولكلّ كون قوانينه الخاصّة به، بمعنى أنّ الحيز الواحد في العالم قد يكون مشغولًا بأكثر من جسم ولكن من عوالم مختلفة، وبحسب هذه النظرية فإنّ الكون ما هو إلّا سيمفونية أوتار فائقة متذبذبة، فالكون عزف موسيقي ليس إلّا، ومن الممكن معرفة الكون وممّا يتكوّن من خلال معرفة الأوتار ونغماتها، فالكون يتصرّف على نمط العزف على الأوتار.

Supercomputer

الكمبيوتر الفائق: هو كمبيوتر ذو إمكانيّات هائلة جدًّا يستخدم لمعالجة كمّ هائل جدًّا من البيانات وله القدرة على تخزين كمّ هائل جدًّا من البيانات والمعلومات والبرامج وهو لا يصلح للاستخدام الشخصي أو على مستوى مؤسّسة محدودة إنّما يستخدم على نطاق دولي حيث يمكنه ربط شبكة كمبيوترات كبيرة جدًّا على نطاق واسع جدًّا بحيث تتدفّق إليه البيانات من عدد كبير جدًّا من الكمبيوترات ليقوم بمعالجتها والحصول على نتائج المعالجة وتخزين ما يلزم منها كي تصبح جاهزة لأيّ كمبيوتر أخر مرتبط معه ويحتاج الحصول على هذه المعلومات.

Super-nova

السوبرنوفا: هو نوع من أنواع النجوم المتفجّرة وتعبير يدلّ على عدّة انفجارات نجمية هائلة يرمي فيها النجم غلافه في الفضاء عند نهاية عمره. ممّا يؤدّي إلى تكوّن سحابة كروية حول النجم برّاقة للغاية (شديدة البريق) من البلازما، سرعان ما تنتشر طاقة الانفجار في الفضاء وتتحوّل إلى أجسام غير مرئية في غضون أسابيع أو أشهر. أمّا قلب النجم فينهار على نفسه نحو المركز مكوّنًا إمّا قزمًا أبيض أو يتحوّل إلى نجم نيوتروني ويعتمد ذلك على كتلة النجم. أمّا إذا زادت كتلة النجم عن نحو 20 كتلة الشمس فإنّه قد يتحوّل إلى ثقب أسود بدون أن ينفجر في صورة سوبرنوفا. وهناك طريقان محتملان لهذه النهاية: إمّا أنّ نجمًا ضخمًا تفوق كتلته 8 أضعاف كتلة الشمس حين ينتهي الاندماج النووي فيه فجأة بسبب نفاد الوقود النووي وتتغلّب قوى الجاذبية فينهار النجم نحو الداخل تحت تأثير قوّة ثقالته وهو السوبرنوفا من النّمط الثّاني. الطريق الآخر المحتمل أن يقوم قزم أبيض بالتقاط مادّة إضافية من نجم مجاور إلى أن يصل إلى كتلة حرجة فيخضع لانفجار نووي حراري وهو السوبرنوفا من النّمط الأوّل. وفي كلتا الحالتين فإنّ انفجار السوبرنوفا يقذف بالطبقة الخارجية من مادّة النجم بقوّة هائلة في الفضاء ويتبقّى قزم أبيض أو نجم نيوتروني.

Superposition

تطابق التراكب: هو تطبيق لمبدأ تراكب الأمواج (التداخل البنّاء) ضمن ميكانيكا الكمّ. ويحدث تراكب الأمواج عندما تجتمع موجتين في نقطة واحدة من الفضاء بنفس طور الموجة أي يكونان بنفس السعة وبنفس الجهة في كلّ لحظة ممّا يولّد اهتزازًا ذا سعة عظمى تساوي مجموع سعتي الموجتين. في ميكانيكا الكمّ نقوم بجمع سعتي الدالتين الموجيتين أو يتم جمع أشعة الحالة. عمليًّا يحدث هذا عندما يمتلك الجسيم اثنتين أو أكثر من القيم للخواصّ القابلة للقياس (موضع أو طاقة الجسيم....) يمكن التعبير عن ذلك بعلمية أكثر أنّ الكميات المقاسة في ميكانيكا الكمّ تمثّل حالات خاصّة من المعامل الخطّي الهيرميتياني. لذا فإنّ الاجتماع الخطّي لواحدة أو أكثر من الحالات الخاصّة تنتج تراكب كمّي لواحدة أو أكثر من قيم هذه الخاصية. إذا قمنا بقياس تلك الكمية، فإنّ فرضية الإسقاط تنصّ على أنّ الحالة الكمّية سيتم اختزالها إلى واحدة من القيم الموجودة في التراكب الكمّي عشوائيًّا.

Tau

تاو: من الحرف اليوناني (τ) وهو جسيم أوليّ مشابه للإلكترون بشحنة كهربائية سالبة ودوران مغزلي بـ½. وهو من عائلة الليبتون. ومثل جميع الجسيمات الأولية هناك جسيم مضادّ للتاو يحمل شحنة موجبة لكن كتلة ودوران مماثلين ويسمّى التاو المضادّ أو التاو الموجب. يرمز للتاو τ والتاو المضادّ τ+. يبلغ متوسط عمر التاو 2.9×10−31ثانية وكتلته 1,777MeV/c2 وللمقارنة فإنّ كتلة الميون هي 105.7MeV/c2 وكتلة الإلكترون. 0.511MeV/c2. بما أنّ تفاعلات التاو مشابهة جدًّا لتفاعلات الإلكترون فلا يمكن التفريق بينهما إلّا بكتلة التاو التي هي أثقل بكثير من كتلة الإلكترون. وبسبب هذه الكتلة الكبيرة فإنّ التاو لا يصدر أشعّة انكباح كالإلكترون لذا فله قابلية اختراق أكبر من هذا الأخير. ومع ذلك بسبب عمره القصير يتمّ تعيين التاو بشكل رئيس بطول اضمحلاله، الذي هو صغير جدًّا ليلحظ في أشعّة انكباح: قوّة اختراقه تظهر فقط في طاقة عالية أكثر من طاقة الإلكترون فولت.

Telepathy

التخاطر: هو مصطلح صاغه فريدرك مايرز عام 1882 ويشير إلى المقدرة على التواصل ونقل المعلومات من عقل إنسان لآخر، أي أنّه يعني القدرة على اكتساب معلومات من أيّ كائن واعٍ آخر، وقد تكون هذه المعلومات أفكار أو مشاعر، وقد استخدمت الكلمة في الماضي لتعبّر عن انتقال الفكر. وهناك الكثير من الدراسات قامت لسبر أغوار هذه الظاهرة النفسية والتي لا تزال في موضع جدل علمي. والناقدون لهذه الظاهرة يقولون إنّها لا تملك نتائج متكرّرة ناجحة عندما تطبق في بحوث متعدّدة. هذا الظاهرة شائعة الاستخدام في أفلام الخيال العلمي والعلوم الحديثة. وبفضل تقنية التصوير العصبي صار من الممكن قراءة الأفكار داخل المخ. كلمة Telepathy هي من أصل يوناني لكلمة من مقطعين بمعنى التأثير عن بعد. ويعد التخاطر أحد مظاهر الحاسّة السادسة أو الإدراك فوق الحسّي، وللحاسة السادسة مظاهر أخرى مثل الاستبصار والمعرفة المسبقة وهى الأمور التى مازالت محلّ جدلٍ في الحقل العلمي.

Teleportation

النقل الآني: هو انتقال المادّة من نقطة إلى أخرى دون عبور الفضاء المادّي بينهما، بما يشبه مفهوم apport، وهي الكلمة التي استخدمت مبكرًا في سياق التخاطر الروحي spiritualism.

Theory of inflation

نظرية التضخم: هي نظرية فيزيائية تتنبأ بأنّ الكون كان في البداية أكثر حرارة بكثير ممّا ترى نظرية الانفجار العظيم الأساسية وأنّه قد تعرّض لفترة توسّع كوني هائل في اللحظات الأولى (مابين 10-43 و10-23 ثانية) في بداية ولادته. تشير نظرية الانفجار العظيم التضخمية إلى أنّ الكون ابتدأ حياته بكثافة عالية جدًّا (كثافة المادّة أكثر من 9310 كجم/ م3) فور ولادته. ومعدل توسّع مرتفع جدًّا 6110 (نانومتر/ سنة/ كم). وهذا المعدّل يقابل بلغة مفهومة 100 مليون مليار سنة ضوئية في كلّ ثانية ولكلّ نانو متر من أبعاد الكون أو بشكل آخر تضخّم الكون خلال هذه الفترة 10+051 مرّة. وهذا المعدّل المرتفع جدًّا لو تتابع لأدّى لانحلال الكون خلال الجزء الثاني من الثانية. ولكن هذا التوسّع السريع جدًّا رافقه انخفاض درجة الحرارة والكتلة الحجمية ممّا أتاح للكثافة الكونية أن تنخفض إلى معدل أصبحت معه ولادة الكون بالشكل الذي نراه اليوم ممكنة. هذا الانخفاض هو الذي أدّى إلى هذا التوسّع الكوني اللامعقول، بحيث أصبح هناك في الكون تناسب بين التوسّع والكثافة لضبط هذا التوسّع والتخفيف من حدّته. وتشير النظرية إلى أنّه في فترة التضخّم من 10-33 ثانية إلى 10-23 ثانية لم يكن في الكون سوى نوع واحد من الجسيمات يخضع لقانون فيزيائي واحد تتوحّد من خلاله القوى الكونية الأربعة. وفي تلك الفترة التي كانت فيها القوى الكونية متّحدة كانت الشروط الفيزيائية غريبة جدًّا عمّا نعرفه نحن. إذ تدلّ الحسابات (كما دلّت بأنّ للفوتونات كتلة كبيرة في الأزمنة الأولى لولادة الكون) بأنّ هناك كتلة للفراغ بل وهي كبيرة جدًّا 10+37 كجم/ م3 ثم تناقصت إلى أن أصبحت حاليًا معدومة. ففي اللحظة 10-33 ثانية بعد الانفجار العظيم وصل الأمر بالتوسّع الكوني إلى الحدّ الذي جعل فيه الكتلة الحجمية للفراغ تطغى على المادّة. وهنا حصلت ظاهرة غريبة، فمع أنّ الكون يتوسّع فإنّ الكتلة الحجمية الكونية لا تنقص. أي أنّ الذي يحصل في النتيجة هو ازدياد الفراغ لا أكثر. ومع انتهاء فترة التضخّم أخذت القوى الكونية تتمايز إلى القوى الأربعة التي نعرفها اليوم ويتتابع التوسّع الكوني كما هو وفق النظرية التقليدية. وسيبقى التوسّع الكوني الحالي على ما هو طالما بقيت كتلة الفراغ مهملة. وهكذا فسّرت نظرية التضخم العديد من الأمور التي كانت عالقة أو غير مفهومة في النظرية بنسختها التقليدية. فمثلًا بالنسبة لنقاط ضعف النظرية الأساسية الثلاث، تجيب النظرية التضخمية:

1 - بأنّ المادّة كانت كلّها محتواة في حيّز صغير بحيث أمكن لجميع الجزيئات تبادل الطاقة في اللّحظة 10-43 ثانية.

2 - التضخّم الكوني يسطح الكون تمامًا كما يفعل التوسّع بسطح كرة.

3 - بالنسبة للمادة المضادّة يمكن أن نجد الحل في الفيزياء الجزيئية التي تحاول شرح الأمر من خلال النظر في مسألة توحّد القوى الكونية.

وهذه هي باختصار نظرية الانفجار العظيم الأساسية والنظرية التضخمية اللتان تتكاملان لتفسير نشوء الكون وتطوّره إلى ما هو عليه اليوم.

Theory of relativity

نظرية النسبية: من أهمّ النظريات الفيزيائية وضعها ألبرت آينشتين في أوائل القرن العشرين، وقد عدلت النظرية الميكانيكية لنيوتن التي كانت قائمة مدّة 200 عام، كما حوّلت مفهوم الحركة لنيوتن،

حيث نصّت أنّ كلّ الحركة نسبية. وغيرت مفهوم الوقت من كونه ثابت ومحدد، إلى كونه بعدًا آخر غير مكاني. وجعلت الزمان والمكان شيئًا موحّدًا بعد أن كان يتمّ التعامل مع الزمان والمكان كشيئين مختلفين. كما جعلت مفهوم الوقت يتوقّف على سرعة الأجسام.. وأصبح تقلّص وتمدّد الزمن مفهوم أساسي لفهم الكون. وفى مجال الفيزياء عمّقت النسبية من فهم التفاعلات الجارية بين الجسيمات، ممّا أدّى لقدوم العصر النووي. وباستخدام نظرية النسبية استطاع علماء الكون والفضاء التنبّؤ بظواهر طبيعية وكونية مثل الثقوب السوداء وموجات الجاذبية. وكانت نظرية النسبيه تمثيلًا لأكثر من نظرية فيزيائية جديدة. أولًا النسبية الخاصة نشرت فى عام 1905، ثم والصورة العامة للنسبية نشرت في عام 1916. وتتعامل النسبيّة الخاصّة مع تفاعلات الجسيمات الصغيرة، فى حين أنّ النسبيّة العامّة تتعامل مع القيم الكونية والفيزياء الفلكية.

Thermodynamics

الديناميكا الحرارية: تعبّر عن أحد فروع الميكانيكا الإحصائية الذي يدرس خواصّ انتقال الشكل الحراري للطاقة خصوصًا وتحوّلاته إلى أوجه أخرى من الطاقة، مثل تحوّل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية كما في محرّك الاحتراق الداخلي والآلة البخارية، أو تحوّل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية كما في محطّات القوى. وتحوّل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية كما في توليد الكهرباء من سدود الأنهار. وقد تطوّرت أساسيات علم الديناميكا الحرارية بدراسة تغيّرات الحجم والضغط ودرجة الحرارة في الآلة البخارية. وقد بدأت دراسات الحركة الحرارية مع اختراع الآلة البخارية وترتب عليها قوانين كثيرة تسري أيضًا على جميع أنواع الآلات ، وبصفة خاصّة تلك التي تحوّل الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكي مثل جميع أنواع المحركات أو عند تحوّل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية مثلًا أو العكس. وينصّ القانون الأول للديناميكا الحرارية (قانون حفظ الطاقة وبقائها) على أنّ الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم ولكن تتحوّل من شكل إلى آخر ، كما حظى القانون الثاني للديناميكا الحرارية على اهتمام علماء كثيرين، بحيث توجد لهذا القانون عدّة صيغ وكلّ صيغة ترى الواقع من زاوية معيّنة، ولكنّها تتّحد جميعًا في المعنى. الصيغة الأولى وهي تتضمّن انتقال الحرارة (من المستحيل أن تنتقل كمّية من الحرارة من جسم عند درجة حرارة منخفضة إلى جسم عند درجة حرارة مرتفعة إلّا ببذل شغل من الخارج) ، الصيغة الثانية وهي تتضمّن الانتروبيا (تتزايد انتروبيا أي نظام معزول مع الوقت، ويميل لكي يصل إلى نهاية عظمى سواء في النظام المعزول أو في الكون وبالتالي استحالة إنقاص انتروبيا مجمل الكون) والصيغة الثالثة وهي تتضمّن تحوّل الطاقة الحرارية إلى شغل (من المستحيل تحويل الطاقة الحرارية بأكملها إلى شغل بوساطة عملية دورية).

Thought experiment

تجربة التفكير: هي إخضاع الفروض النظرية والنظريات والقواعد للتفكير. والهدف العامّ من تجرية التفكير هو استكشاف التبعات المحتملة للفرض النظري أو النظرية أو المبدأ محلّ التساؤل. فبتصميم التجربة ذهنيًّا سيكون ممكنًا أو من غير الممكن أداؤها فعليًّا وفى حالة إذا ما كان ذلك ممكنًا فلن يكون مطلوبًا إجراء التجربة فعليًّا. ومن أشهر أمثلة تجارب التفكير قطّة شرودنجر التي توضح عدم قابلية التحديد الكمّي من خلال تناول بيئة معزولة تمامًا وكمّية من مادّة مشعّة، وعفريت ماكسويل التي حاولت توضيح إمكانية انتهاك القانون الثاني للديناميكا الحرارية.

Time machine

آلة الزمن: السفر عبر الزمن هو مفهوم الانتقال إلى الوراء أو إلى الأمام من نقاط مختلفة في الزمن، بشكل يماثل الانتقال خلال المكان. إضافة إلى ذلك، بعض التفسيرات للسفر عبر الزمن توحي بأنّه من الممكن الانتقال بين أكوان متوازية. وقد مثّلت فكرة السفر عبر الزمن أداة مشتركة في القصص الخيالية في القرن التاسع عشر، وكان السفر عبر الزمن هو إلى المستقبل فقط تماشيًا مع ظاهرة التمدّد الزمني في النظرية النسبية. ويطلق على أيّ وسيلة تقنية سواءً كانت خيالية أم افتراضية تُستعمل للسفر عبر الزمن تسمّى آلة الزمن.

Tubulin

التيوبيولين: هو أحد الأعضاء المتعدّدة في عائلة صغيرة من البروتينات الحبيبية. وأشهرها التيوبيولين ألفا وبيتا وهي البروتينات التي تصنع الإنيبيبات المجهرية.

Unified theory

النظرية الموحّدة: تسمّى أيضًا نظرية الحقل الموحّد وهي أحد أشكال نظرية الحقل التي تسمح لكلّ القوى الأساسية بين الجسيمات الأولية بأن تكتب بدلالة حقل وحيد. وحتّى الآن لا توجد نظرية حقل موحّد مقبولة بعد، ممّا يجعلها مجالًا مفتوحًا للأبحاث والدراسات. ولقد تمّت صياغة المصطلح الأساسي للنظرية من قبل ألبرت أينشتاين في محاولة لتوحيد نظرية النسبية العامّة مع الكهرومغناطيسية. ترتبط هذه النظرية بشكل وثيق مع نظرية كلّ شيء، لكنّ نظرية كلّ شيء تختلف بعدم تطلّبها الأساس الطبيعي للحقول، كما أنّها تحاول أن تشرح كلّ ثوابت الطبيعة. تدرس هذه النظرية في ارتباطها مع نظرية الكمّ، كما تمّت محاولات سابقة تستند إلى الفيزياء الكلاسيكية تتمّ مناقشتها في نظرية الحقل الموحّد الكلاسيكية.

Vacuum fluctuations

تقلّبات الفراغ: أو تأرجحات الفراغ هي اهتزاز أو تغيّر للطاقة وقتي في الفراغ حسب ميكانيكا الكمّ. وينشأ عن مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج. وهذا يعني أنّ قانون بقاء الطاقة قد ينكسر ولكن لفترة زمنية قصيرة جدًّا، وأن مقدار التغيّر في الطاقة يكون كبيرًا كلّما صغر زمن حدوث هذا التغير. ويكون مقدار التغيّر في الطاقة كبيرًا كلّما صغر زمن حدوث هذا التغير، وأنّ حاصل ضرب التغيّران محكوم بكونه يكون في حدود ثابت بلانك. وينتج عن ذلك مثلًا أن يكون من الممكن ظهور في الفراغ زوجان من الجسيمات فجأةجسيم أولي و نقيض الجسيم، واختفاؤهما في نفس اللحظة. ويمكن قياس تلك الظاهرة، فعلى سبيل المثال، فإنّ الشحنة الواقعية للإلكترون تختلف عن شحنته «العارية». وقد تُعزى نشأة الكون إلى تموج كمومي: فطبقًا لنموذج التضخّم الكوني فإنّ تقلبات الفراغ الكمّية التى حدثت آنذاك وتسببّت في تضخّم الكون كانت قد كبرت بحيث كوّنت بذرة ما تبع ذلك من هيكلة ونشأة الكون.

Wave function

دالة الموجة: تحتلّ مكانة مهمّة في ميكانيكا الكمّ، حيث ينصّ مبدأ عدم اليقين على عدم قدرتنا على تحديد موضع وسرعة جسيم ما بدقّة، لكن نعمد إلى دالّة موجية مرافقة لكلّ جسيم حسب التصوّر الموجي الذي قدّمه شرودنجر، وتقوم هذه الدالّة الموجية بتحديد احتمال وجود الجسيم في أيّ نقطة

من الفراغ التي يمكن للجسيم التواجد فيها. دالّة الموجة هي أداة لوصف الجسيمات وحركتها وتأثّرها مع جسيمات أخرى مثل الذرّة أو نواة الذرّة. وتصف الدالّة الموجية في ميكانيكا الكمّ الحالة الكمّية إمّا لأحد الجسيمات الأولية أو لمجموعة من الجسيمات الأولية في الفراغ، وتعيّن احتمال تواجده أو تواجدها في مكان معيّن. (احتمال تواجد جسيم في مكان معيّن يُعبر عنه في ميكانيكا الكمّ بعدد بين 1 (موجود -100%) وصفر (غير موجود 0%) وطبقًا لتفسير كوبنهاجن لميكانيكا الكمّ تحتوي الدالّة الموجية على جميع المعلومات المتعلّقة بالجسيم أو مجموعة الجسيمات. والدالّة الموجية تكون حلًّا لإحدى معادلات شرودنجر التي يمكن صياغتها لوصف النظام المطلوب دراسته، مثل الإلكترون في غلاف ذرّة أو تشتّت البرتونات على نواة الذرّة، وغيرها. ويمكن للمعادلة الموجية أن تصف الحالة الكمّية لجسيم أولي، واقع تحت تأثير خارجي (مثل حركة الإلكترون حول النواة في الذرة) أو حالة الإلكترون الحرّ.

Work

الشّغل: في علم الفيزياء هو كمّية الطاقة المتحوّلة للتحريك بقوّة ما لمسافة ما، وحدة قياس الشّغل الفيزيائي حسب النظام العالمي للوحدات هي الجول (Joule)، وهو يعادل تسليط قوّة قدرها 1 نيوتن عبر مسافة 1 متر، أو تشغيل قدرة قدرها 1 وات مدّة 1 ثانية، أو يعادل الطاقة التي تكتسبها شحنة كهربية مقدارها 1 كولوم عند تسريعها بين فرق جهد مقداره 1 فولت، أو رفع قالب شوكولاته وزنه 0.102 كيلوجرام مسافة 1 متر، أو الطاقة اللازمة لرفع 1 جرام ماء في درجة حرارة 15 درجة مئوية مقدار 0.239 درجة مئوية. ويرمز للجول بالرمز «J» ويرمز للشغل بالرمزW. استنادًا لنظرية الشغل والطاقة.

Zillion

زليون: هو رقم غير محدّد كما يعرّفه العلماء عبر العالم، أو رقم هائل جدًّا (كبير جدًّا لدرجة أنّه من النادر استخدامه) أو هو تعبير عن رقم كبير جدًّا وحسب. ومن أسماء الأرقام مليون 6 أصفار، مليار 9 أصفار، بليون 12 صفر، بليار 15 صفر، ترليون 18 صفر، ترليار 21 صفر، كريليون 24 صفر، كريليار 27 صفر، سنكليون 30 صفر، سنكليار 33 صفر، سيزيليون 36 صفر، سيزيليار 39 صفر، سيتليون 42 صفر، سيتليار 45 صفر، ويتليون 48 صفر، ويتليار 51 صفر، تيفليون 54 صفر، تيفليار 57 صفر، ديشليون 60 صفر، ديشليار 63 صفر ، وهناك اكتيليون واكتيليار ونونيليون نونيليار واندكليون وانديكليار...إلخ. ويستعمل علماء الفلك والطبيعة هذه الأرقام كثيرًا؛ ففي عالم المال والاقتصاد قد لا تتجاوز ميزانية أعظم دولة ترليون دولار. أمّا بين النجوم وداخل الذرّة وتحت المجهر فمن المعتاد استعمال الأرقام السابقة لتحقيق قياسات دقيقة.

فهرس العلماء

(من إعداد المترجم)

Aermand Fizeau

أرمند فيزو (1819 ـ 1896)، فيزيائي فرنسي. في بداية أعماله كانت اهتماماته تتعلق بتطوير العلميات الفوتوغرافية. انخرط في سلسلة من التجارب حول العلاقة بين الضوء والحرارة. في عام 1848 تنبأ بظاهرة انزياح موجات الطيف نحو اللون الأحمر. وفي عام 1989 نشرَ أولى نتائج محاولاته لقياس سرعة الضوء. وفي عام 1850 قام مع اي.غونيل بقياس سرعة الكهرباء. كما ساهم فيزو في اكتشاف ظاهرة دوبلر.

Alain Aspect

ألين أسبيكت (1947 -.....) عالم فيزياء فرنسي أثبت بالتجربة الفعل الشبحي للجسيمات عبر مسافة، كما تنبأ آينشتين وبودولسكى في التناقض الظاهرى لزوجى EPR.

Alan Turing

الآن تيورنج (1912 - 1954) عالم رياضيات إنجليزي ويعد مؤسس علم الكمبيوتر الحديث.

Albert Einstein

آلبرت آينشتين (1879 - 1955) عالم ألمانى سويسرى أمريكى، أحد أهم العلماء في الفيزياء، ويشتهر بأبي النسبية كونه واضع النظرية النسبية الخاصة والنظرية النسبية العامة الشهيرتين اللتين كانتا اللبنة الأولى للفيزياء النظرية.

Albert Michelson

آلبيرت مايكلسون (1852 - 1931) فيزيائي أمريكي شهير، عمل على قياس سرعة الضوء. كما اشتهر من خلال تجربة مايكلسون ومورلى للبحث عن الأثير، ولما لم يجدوه أحدث ذلك ضجة علمية كبيرة أدت إلى تطور النظرية النسبية. حصل على جائزة نوبل عام 1907 وهو أول أمريكي يحصل على جائزة نوبل في العلوم.

Anedio Ranfagni

أنيديو رانفاني فيزيائي إيطالى يعمل حاليا باحثا في مجلس الأبحاث القومي الإيطالي في مجال الأبحاث الكمية حول تجاوز سرعة الضوء.

Antoine Luarent Lavoisier

آنطوان لوران لافوازييه (1743 - 1794) أحد النبلاء الفرنسيين ذو صيت في تاريخ الكيمياء والأحياء والاقتصاد، أول من صاغ قانون حفظ المادة، وتعرّف على الأكسجين وقام بتسميته في عام 1778م، وعادةً يشار إليه بأنه أحد آباء الكيمياء الحديثة.

Anton Zeilinger

آنتون زيلينجر (1945 -.....) عالم فيزياء نمساوي، مهتم بالتشبيك الكمي والمعلومات الكمية والاتصال الكمي.

Arthur Eddington

آرثر ادينجتون (1882 - 1944) عالم وفيزيائي وفلكي بريطاني شهير كان عضوا بالجمعية الملكية البريطانية وكان مولعًا منذ وقت مبكرٍ بنظام الكون وبحركة النجوم وتكوينها الداخلي. كان أول من لاحظ انحراف الضوء بوساطة مجال الجاذبية الشمسية، وأول من عمل على دراسة النظرية النسبية وأثبت صحتها وذلك بالبعثة التي قام بها عام 1919 لجنوب أفريقيا بملاحظة وقياس انحراف أشعة أحد النجوم بسبب المجال الجذبي للشمس مما يتفق مع حسابات النسبية العامة وكان له أول دور في شهرة العالم الشهير آلبرت آينشتين صاحب النظرية النسبية.

Arthur Scherbius

آرثر شيربيوس (1878 - 1929) مهندس كهربائي ألماني اخترع آلة تشفير عرفت باسم آلة إنيجما، وأسس شركة شيربيوس وريتر واخترع العديد من الاختراعات، مثل المحرك الحثي والوسادة الكهربائية، وبعض قطع التسخين السيراميكية.

Benjamin Thompson

بنجامين طومسون (1753 - 1814) عالم فيزيائي أسهم في دحض نظرية الكالورى من خلال أبحاثه على مفهوم انتقال الحرارة.

Boris Podolsky

بوريس بودولسكى (1896 - 1966) عالم فيزياء أمريكي، عمل مع آينشتين وروزين اشتغل على دوال التشبيك الموجي وتناقض زوج EPR.

Charles Bennett

شارلز بينيت (1943 -.....) فيزيائي متخصص في نظرية المعلومات وتطبيقات ميكانيكا الكم، أعاد اختبار الأسس الفيزيائية للمعلومات وتطبيقات ميكانيكا الكم في تبادل المعلومات، ولعب دورا هاما في كشف الصلة بين الفيزياء والمعلومات.

Chris Monroe

كريس مونروى عالم أمريكي في الفيزياء التجريبية الذرية ومتخصص في عزل الذرات من أجل إجراء تجارب فيزياء الكم وتطبيقات معلومات الكم.

Christian Huygens

كريستيان هايجنز (1629 - 1695) عالم رياضيات وفلكي وفيزيائي هولندي، ويعرف بنظريته في انتشار الأمواج، كما أنه صاحب اختراع الساعة البندولية، وبالنسبة لتكنولوجية الأرصاد الفلكية فقد قام بأخذ أرصاد فلكية اكتشف منها تيتان أحد أقمار كوكب زحل، وكذلك عددًا من النجوم المزدوجة علاوة على دوران وفلطحة المريخ.

Claude Elwood Shannon

كلود إلوود شانون (1916 - 2001) عالم رياضيات أمريكي من مؤسسي نظرية المعلومات وعلم الدوائر الرقمية، وكانت بحوثه قائمة على تشكيل البيانات ومعالجة الإشارات وكل هذا كان مبشرًا بقدوم عصر المعلومات. فهو مؤسس الثورة الرقمية وبدونه لا وجود للأشياء التي نعرفها اليوم. وفي آخر حياته لم يكن شانون واعيًا بما حققه بالثورة الرقمية لأن ذاكرته قد تلاشت بسبب مرض ألزهايمر.

David Deutsch

ديفيد دويتش (1953 -.......) فيزيائي انجليزي ولد في حيفا 1953، وهو رائد في مجال الحوسبة الكمية.

David Wineland

ديفيد وينلاند (1944 -.....) عالم فيزياء أمريكي يعمل في مجال البصريات والحوسبة الكمية، حاز على جائزة نوبل في الفيزياء عام 2012.

Edward Morley

إدوارد مورلي (1838 - 1923) عالم أمريكى اشتهر بإجراء تجربة مايكلسون ومورلي لقياس سرعة الضوء. له أبحاث هامة في مجالات الفيزياء وعلم الفلك والكيمياء.

Erwin Schrödinger

ارفين شرودنجر (1887 - 1961) فيزيائي نمساوي معروف بإسهاماته في ميكانيكا الكم وخصوصا معادلة شرودنجر التي حاز من أجلها على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1933. وقد حلت هذه المعادلة بنجاح معضلة تآثر جسيمين أساسيين كميين هما الإلكترون سالب الشحنة والبروتون موجب الشحنة والذي يكوّن نواة ذرة الهيدروجين، ووضع بذلك أساس الميكانيكا الموجية، بواسطة ميكانيكا الكم التي اشترك أيضًا في تأسيسها في نفس الوقت العالم الألماني هايزنبرج وكان كل منهما يعمل على حده، استطاع شرودنجر أيضا تفسير النشاط الإشعاعي وحسابه بدقة كبيرة. وإلى يومنا هذا لا تزال معادلة شرودنجر من الأعمدة الأساسية لدى الفيزيائيين لحل وفهم كثير من الظواهر الطبيعية الكمية في مجال الجسيمات الذرية وتحت الذرية.

Francesco De Martini

فرانسيسكو دى مارتيني (1934 -......) عالم إيطالي له أبحاث في مجال المعلومات الكمية والبصريات الكمية.

Francis Crick

فرانسيس كريك (1916 - 2004) فيزيائي وعالم كيمياء حيوية بريطاني، حصل مع جيمس واطسون على جائزة نوبل في الطب لعام 1962 لدوره في اكتشاف الحمض النووي DNA. وقد اهتم كريك بمشكلتين رئيسيتين لم تُحلا بعد في علم الأحياء. الأولى، كيف تتحول الجزيئات من غير حية إلى حية، والثانية، كيف يصبح المخ عقلًا واعيًا.

Freeman Dyson

فريمان ديسون (1923 -......) رياضي وفيزيائي نظري أمريكي من أصل بريطاني. اشتهر بعمله في مجال نظرية الكم وفيزياء الحالة الصلبة وعلم الفلك والهندسة النووية.

Gerardus’t Hooft

جيراردست هوفت (1946 -......) فيزيائي هولندي حصل على جائزة نوبل للفيزياء عام 1999 في الفيزياء، وقد سمي أحد النيازك باسمه هوفت/1994 تكريما له.

Heinrich Hertz

هنريش هيرتز (1857 - 1894) فيزيائي ألماني أثبت بتجاربه وجود الأمواج الراديوية وبيّن أن خصائصها شبيهة بخصائص الأمواج الضوئية وقد كان لتجاربه فضل كبير في اختراع التلغراف اللاسلكي.

Hugh Everett

هيوج إيفيرت (1930 - 1982) فيزيائي أمريكي كان أول من افترض وجود الأكوان المتعددة من خلال دراسته لفيزياء الكم.

Isaac Chuang

اسحق شوانج فيزيائي رياضي أمريكى يعمل حاليا في مجال الحوسبة الكمية.

Issac Newton

اسحق نيوتن (1642 - 1727) عالم انجليزي، أشهر عالم فيزيائي، وفيلسوف ومن أعظم علماء القرن الثامن عشر في الرياضيات والفيزياء. قدّم نيوتن ورقة علمية وصف فيها قوة الجاذبية الكونية ومهّد الطريق لعلم الميكانيكا الكلاسيكية عن طريق قوانين الحركة.

Jacob Bekenstein

جاكوب بيكينشتين (1947 -......) عالم فيزياء نظرية ولد في المكسيك ومقيم حاليا في إسرائيل ويعمل على الديناميكا الحرارية للثقوب السوداء. والجوانب الأخرى للروابط بين المعلومات والجاذبية.

Jacques Charles

جاك تشارلز (1746 - 1823) مخترع فرنسي وعالم ورياضي مخترع المنطاد، وقد استخدم منطادا مملوءا بالهيدروجين ونجح في الصعود به الى ارتفاع 550 مترا. وله قانون باسمه (قانون تشالرز) لوصف الكيفية التي تتمدد بها الغازات عندما يتم تسخينها.

James Clerk Maxwell

جيمس كليرك ماكسويل (1831 - 1879) عالم فيزياء بريطاني شهير لما أسهم به من معادلات هامة تفسر ظهور الكهرومغناطيسية. يعتبر كثير من علماء الفيزياء أن ماكسويل هو أكثر علماء

القرن التاسع عشر تأثيرًا على علم الفيزياء، ويضاهي الكثير منهم هذا التأثير بتأثير نيوتن وآينشتين.

James Joule

جيمس جول (1818 – 1889) فيزيائى انجليزي ترجع شهرته إلى تجاربه في الحرارة، حيث اكتشف أن صور الطاقة ثلاث الميكانيكية والكهربائية والحرارية، وأنه يمكن لأي صورة منها أن تتحول للأخرى، واستنتج من هذه التجارب المكافئ الميكانيكي الحراري. ونتيجة لأبحاث جول المهمة فقد أطلق اسمه على وحدة الشغل والطاقة وهي الجول joule ويرمز لها بالرمز(J).

James Watson

جيمس واطسون (1928 -......) عالم وراثة أمريكي. حائز مع فرانسيس كريك على جائزة نوبل في الطب لدوره في اكتشاف الحمض النووي DNA عام 1962. أثار جدلا في 2007 عندما صرح «إن السود أقل ذكاء من البيض» يُذكر أن واطسون سبق أن أثار جدلا في الماضي عندما قال إنه يجب إعطاء المرأة حق إجهاض جنينها في حال استطاعت التجارب أن تثبت أن مثل ذلك الجنين قد يكون مثلي الجنس في المستقبل.

James Watt

جيمس وات (1736 - 1819) مهندس اسكتلندي أجرى عدة تجارب للاستفادة من ضغط البخار. ثم وقع في يده محرك بخاري من طراز نيوكومن فاخترع له مكثفا وأجرى عليه بعض التعديلات والتحسينات مثل المضخة الهوائية وغلاف لاسطوانة البخار ومؤشر للبخار مما جعل المحرك البخاري آلة تجارية ناجحة وذلك عام 1769.

Jean-Baptiste-Joseph Fourier

جان باتيست جوزيف فورييه (1768 - 1830) عالم رياضيات وفيزيائي فرنسي، في نهاية القرن الثامن عشر ذهب مع نابليون بونابرت إلى مصر حيث كان سكرتيرًا في المعهد المصري. ترك فورييه العمل غير مكتمل في المعادلات المحددة حيث توفي قبل أن يتم تحريرها ونشرها في عام 1831م، وقد احتوى هذا العمل على العديد من المواد الأصلية وبالتحديد شرح لنظريات فورييه في مواضيع الجذور في المعادلات الجبرية. أهم إضافاته للرياضيات تحويل فورييه وتحليل فورييه ومتسلسلة فورييه وهي نظريات ومعارف تستخدم في أحدث مجالات الصناعات وهناك الكثير من النظريات التي تبني عليها.

John Preskill

جون بريسكيل (1953 -......) عالم أمريكي في الفيزياء النظرية له أبحاث منشورة حول النظرية العظمى الموحدة، وتتركز أبحاثه الآن حول الحوسبة الكمية ونظرية المعلومات.

John von Neumann

جون فون نيومان (1903 – 1957) عالم رياضيات أمريكي قدم مساهمات واسعة وهامة في كثير من المجالات، ويعتبر من أهم علماء الرياضيات في التاريخ الحديث. وكان واحدا من العلماء المشاركين في مشروع مانهاتن لتصنيع القنبلة الذرية.

John Wheeler

جون ويلر (1911 - 2008) عالم فيزياء أمريكي من الأواخر الذين شاركوا آينشتين في أعماله وهو مبتكر مصطلح الثقب الأسود. كان من الذين اشتركوا في مشروع مانهاتن لإنتاج القنبلة الذرية وقد نال الدكتوراه وعمره 21 عاما.

Kip Thorne

كيب ثورن (1940 -......) عالم أمريكي في الفيزياء النظرية، له إسهامات في مجال فيزياء الجاذبية والفيزياء الفلكية وله أبحاث عن الثقوب السوداء والسفر عبر الزمن، وهو زميل لستيفن هوكينج وكارل ساجان.

Laura Landwber

لورا لاندفيبر عالمة أمريكية وأستاذة البيولوجيا التطورية والبيولوجيا الجزيئية ولها كتب عن الجينات وانقراض الأنواع وعن الكمبيوتر المبني على DNA وحوسبة عملية التطور.

Lawrence Krauss

لاورنس كروس (1954 -......) عالم كندي في الفيزياء النظرية والفلك ويُعد من الفيزيائيين النظريين المشهورين جدًّا في الوسط العلمي العالمي ومن أهم المواضيع التي اشتهر بها البحوث التي تربط بين الفيزياء الكمية وعِلم الكون حيث تتناول دراساته وأبحاثه مواضيع مهمة مثل بداية الكون، طبيعة المادة المعتمة، النظرية النسبية العامة، وفيزياء النيوترينو الفلكية.

Leonard Susskind

ليونارد سوسكيند (1940 -......) رياضي وفيزيائي أمريكي، وأستاذ الفيزياء النظرية بجامعة ستانفورد. ويعد أحد آباء نظرية الأوتار كنموذج لفيزياء الجسيمات الأولية.

Leon Brillouin

ليون بريّوين (1889 - 1969) عالم فيزياء فرنسي أمريكي، معروف بعمله في ميكانيكا الكم وفيزياء الحالة الصلبة. وقد كان يعمل على نظرية الموجات ونظرية المعلومات.

Leo Szilard

ليو زيلارد (1898 - 1964) فيزيائي أمريكي نال براءة الاختراع لفكرة المفاعل النووي مع إنريكو فيرمى. كما وضع تصورا للميكروسكوب الإلكترونى.

Lijun Wang

ليجون وانج فيزيائي أمريكي أجرى في عام 2000 مع زملائه في معهد أبحاث NEC الأمريكى تجربة أثبت بها تحرك نبضة ضوئية بأكثر من 300 ضعف سرعة الضوء خلال غرفة مشبعة ببخار السيزيوم. أي أن النبضة الضوئية قد خرجت من الحجرة قبل أن تدخلها أصلا.

Lord Kelvin

لورد كلفن (1824 - 1907) فيزيائي ومهندس اسكتنلدي ولد في أيرلندا الشمالية باسم وليام طومسون William Thomson وهو مؤسس الفيزياء الحديثة. ولقد أطلق اسمه على وحدة قياس درجة الحرارة المعادلة لدرجة (1) مئوي وهي الكلفن. ولقد حسب كلفن أخفض درجة يمكن أن تصل إليها المادة وسميت هذه الدرجة بالصفر المطلق.

Louis de Broglie

لويس دي برولى (1892 - 1987) فيزيائي فرنسي وصديق آينشتين حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1929، وقد ساهم في بناء نظرية الكم، وهو صاحب افتراض ثنائية موجة/جسيم للإلكترون ومن ضمن تطبيقات افتراض دي برولي هو اختراع الميكروسكوب الإلكتروني حيث تتصرف الإلكترونات فيه كما لو كانت أشعة ضوء، تنكسر أشعته داخل الميكروسكوب بواسطة مجالات كهربائية ومغناطيسية، تماما كما تنكسر أشعة الضوء في المجهر العادي، والميكروسكوب الإلكتروني يفوق المجهر العادي في التكبير، نظرًا لأن الإلكترون بخاصته الموجية يتميز بطول موجة قصيرة، أقصر من طول موجة الضوء.

Lov Grover

لوف جروفر (1961 -......) فيزيائي رياضي أمريكي من أصل هندي يعمل حاليا في مجال علوم الكمبيوتر.

Ludwig Boltzmann

لودفيج بولتزمان (1844 - 1906) درس الفيزياء وحصل على درجة الدكتوراه في الفيزياء النظرية وأصبح عام < class="e char-style-override-43" xml:lang="en-
US">1892 عضوا في أكاديمية بافاريا للعلوم. سمى باسمه ثابت بولتزمان.

Marvin Minsky

مارفن مينسكى (1927 -......) عالم أمريكي مختص في العلوم الإدراكية والمعرفية ومجال الذكاء الاصطناعي.

Max Born

ماكس بورن (1882 - 1970) عالم رياضيات وفيزيائي ألماني حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1954 بفضل بحوثه الأساسية عن ميكانيكا الكم.

Max Planck

ماكس بلانك (1858 - 1947) عالم فيزياء ألماني وأحد أهم فيزيائيي القرن العشرين. وبلانك هو أبو نظرية الكم. وإن كان دوره متواضعًا في التطورات والتعديلات التي أدخلت على نظريته. ومن الخطأ أن نقلل من شأن بلانك بسبب ذلك. فهو الذي حرر العقول العلمية من النظريات القديمة الجامدة، مما شجع العلماء من بعده على اكتشاف نظرية أكثر اتساقًا مع نظريته.

Max Tegmark

ماكس تيجمارك (1967 -......) عالم كونيات أمريكي من أصل سويدي.

Michael Faraday

مايكل فاراداى (1791 - 1867) هو عالم كيميائي وفيزيائي انجليزي وضع أسس الكهرومغناطيسية ويعد اختراعه للأجهزة الكهرومغناطيسية بداية لتكنولوجيا المواتير الكهربائية.

Nathan Rosen

ناثان روزين (1909 - 1995) عالم أمريكي درس جزيء الهيدروجين وعمل مع آينشتين وبودولسكى على دوال التشبيك الموجي وتناقض زوج EPR. وقد استخدم تشبيك دوال الموجة لوصف تركيب جزيء الهيدروجين.

Nicolas Gisin

نيكولاس جيسين (1952 -......) فيزيائي سويسري ورئيس لمجموعة بحثية في البصريات الكمية بجامعة جينيف.

Neil Gershenfeld

نيل جريشينفيلد فيزيائي رياضي أمريكي يعمل في مجال الحوسبة الكمية.

Niels Bohr

نيلز بور (1885 - 1962) فيزيائي دنماركي أسهم بشكل بارز في صياغة نماذج لفهم البنية الذرية إضافة إلى ميكانيكا الكم وخصوصا تفسيره الذي ينادي بقبول الطبيعة الاحتمالية التي تطرحها ميكانيكا الكم والذي يعرف بتفسير كوبنهاجن. درس تحت إشراف العالم طومسون الذي اكتشف الإلكترون ودرس بعدها على يد العالم إرنست رذرفورد مكتشف نواة الذرة، وسرعان ما اهتدى بور إلى نظريته عن بناء الذرة. ففي 1913 نشر بحثًا تحت عنوان: عن تكوين الذرة والجسيمات في المجلة الفلسفية، ويعتبر هذا البحث من العلامات في علم الفيزياء. وحصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1922 وقد ساعد في إنتاج القنبلة الذرية.

Paul Dirac

بول ديراك (1902 - 1984) فيزيائي بريطاني وأحد مؤسسي ميكانيكا الكم. حيث قام بتطوير نظرية فيزيائية أعم تشمل في صلبها نظريات هايزنبرج وشرودنجر كحالات خاصة. بدأت شهرة ديراك عن طريق استنباطه عام 1928 للوصف الرياضي الدقيق للجزيئات الأولية التي انسجمت مع كل من ميكانيكا الكم والنظرية النسبية، تنبأ بوجود البوزيترون المشابه للإلكترون في كل مظاهره إلا أن شحنته سالبة، وهو مؤسس الديناميكا الكهربية الكمية الحديثة ونال جائزة نوبل عام 1933.

Peter Shor

بيتر شور (1959 -.......) عالم أمريكي في الرياضيات التطبيقية وأشهر أعماله في مجال الحوسبة الكمية.

Ray Laflamme

راي لافلام (1960 -......) عالم كندي في فيزياء ميكانيكا الكم، نال درجة الدكتوراه في الفيزياء تحت إشراف ستيفن هوكينج، يعمل حاليا في مجال الجاذبية الكمية ويعد من رواد نظرية المعلومات الكمية.

Raymond Chiao

رايموند شياو (1940 -.....) عالم فيزيائي أمريكي اشتهر بأعماله على علم البصريات الكمي، قام بقياس زمن التنفيق الكمي ويعمل حاليا في أبحاث على إشعاع الجاذبية.

Richard Dawkins

ريتشارد داوكينز (1941 -......) هو عالم بيولوجيا تطورية بريطاني وفيلسوف في الأديان وكاتب أدبيات علمية، ومن أبرز أعماله التأكيد على الدور الرئيسي للجينات كقوة دافعة للتطور.

Richard Feynman

ريتشارد فاينمان (1918 - 1988) فيزيائي أمريكي معروف بإسهاماته في نظرية الكم، وفيزياء الميوعة الفائقة وفيزياء الجسيمات، وبفضل إسهاماته في الكهروديناميكا الكمية حصل على جائزة نوبل عام 1965 وساعد فاينمان في بناء القنبلة الذرية في مشروع مانهاتن. كما شارك في إعداد النظرية الحالية عن الكواركات. وكان ضمن لجنة التحقيق لكارثة تحطم مكوك الفضاء الأمريكي تشالنجر ونجح وزملاءه في معرفة الأسباب التقنية التي أدت إلى الانفجار، وكذلك أيضًا يُشار إلى فاينمان باعتباره من أوائل العلماء الذين تنبأوا بتقنية النانو.

Robert Boyle

روبرت بويل (1627 - 1691) عالم أيرلندي يعد من أبرز الذين عملوا في مجال الغازات وخواصها، وقام بدراسة العلاقة بين ضغط وحجم الغازات المختلفة، ووضع بذلك قانونًا يعرف الآن باسمه «قانون بويل».

Roger Penrose

روجر بينروز (1931 -......) فيزيائي رياضي بريطاني، اكتسب شهرة واسعة نتيجة أعماله في النسبية العامة وعلم الكون، وهو أحد المساهمين مع ستيفن هوكينج في صياغة نظرية الثقوب السوداء.

Rolf Landauer

رولف لاندور (1927 - 1999) عالم فيزياء اشتهر بأعماله في مجال الديناميكا الحرارية لمعالجة المعلومات، وفيزياء المادة الكثيفة.

Rudolf Clausius

رودولف كلاوزيوس (1822 - 1888) عالم فيزيائي ألماني، أعاد تعريف دورة كارنو كما قدم نظرية الحرارة.

Sadi Carnot

سادى كارنو (1796 - 1832) عالم فيزياء ومهندس عسكري فرنسي، أول من وضع إطارا نظريا ناجحا للمحركات الحرارية، يعرف حاليا بدورة كارنو، ومن خلاله وضع الأساس للقانون الثاني للديناميكا الحرارية.

Seth Lloyd

سيث لويد (1960 -......) فيزيائي أمريكي وأستاذ للهندسة الميكانيكية في معهد ماساشوسيتس للتكنولوجيا، نال درجة الدكتوراه في فيزياء الطاقة العالية، ويعمل ضمن فريق على تطبيقات المعلومات على أنظمة الميكانيكا الكمية.

Stephen Hawking

ستيفن هوكينج (1942 -......) فيزيائي انجليزي وهو من أبرز علماء الفيزياء النظرية على مستوى العالم، له أبحاث نظرية في علم الكون وأبحاث في العلاقة بين الثقوب السوداء والديناميكا الحرارية، وله دراسات في التسلسل الزمني. أصدر في عام 1971 بالتزامن مع عالم الرياضيات روجر بينروز نظريته التي تثبت رياضيا وعبر نظرية النسبية العامة لآينشتين بأن الثقوب السوداء أو النجوم المنهارة بالجاذبية هي حالة تفردية في الكون «أي أنها حدث لها نقطة بداية في الزمن»، وفى عام 1974 أثبت نظريا أن الثقوب السوداء تصدر إشعاعا على عكس كل النظريات المطروحة آنذاك وسمي هذا الإشعاع باسمه «إشعاع هوكينج» واستعان بنظريات ميكانيكا الكم وقوانين الديناميكا الحرارية. وطور نظرية اللاحدود للكون التي غيرت من التصور القديم للحظة الانفجار الكبير عن نشأة الكون إضافة إلى عدم تعارضها مع أن الكون نظام منتظم ومغلق. وفى عام 1988 نشر كتابه «موجز تاريخ الزمن» الذي حقق أرقام مبيعات وشهرة عالية ولاعتقاد هوكينج أن الإنسان العادي يجب أن يعرف مبادئ الكون فقد بسط النظريات بشكل سلس. أصيب هوكينج بمرض عصبي وهو في عمر 21 بمرض التصلب الجانبى وهو مرض مميت لا دواء له وقد ذكر الأطباء أنه لن يعيش أكثر من سنتين، ومع ذلك جاهد المرض وهو في عمر 70 الآن، ذلك المرض جعله مقعدا تماما غير قادر على الحراك، لكن مع ذلك استطاع أن يجاري بل وأن يتفوق على أقرانه من علماء الفيزياء رغم أن أيديهم كانت سليمة ويستطيعون أن يكتبوا المعادلات المعقدة ويجروا حساباتهم الطويلة على الورق كان هوكينج وبطريقة لا تصدق يجري هذه الحسابات في ذهنه، ويفخر بأنه حظي بذات اللقب وكرسي الأستاذية الذي حظي به من قبل السير إسحق نيوتن. مع تطور مرضه وأيضا بسبب إجرائه عملية للقصبة الهوائية بسبب التهاب القصبة، أصبح هوكنج غير قادر على النطق أو تحريك ذراعه أو قدمه أي أصبح غير قادر على الحركة تماما، فقامت شركة إنتل للمعالجات والنظم الرقميه بتطوير نظام حاسوب خاص متصل بكرسيه يستطيع هوكينج به التحكم بحركة كرسيه والتخاطب باستخدام صوت مولد إلكترونيا وإصدار الأوامر عن طريق حركة عينه ورأسه، حيث يقوم بإخراج بيانات مخزنة مسبقا في الجهاز تمثل كلمات وأوامر. يعتبر هوكنج مثالا على الصبر والتحدي في صراعة مع المرض الذي دام 47 سنة. آخر كتاب صدر له في عام 2010 عن الكون بعنوان «التصميم الأعظم».

Stuart Hameroff

ستيورات هامروف (1947 -.....) عالم أمريكي متخصص في التخدير وفي دراسة الوعى، يعمل حاليا أستاذا للتخدير والأمراض النفسية.

Thomas Young

توماس يونج (1773 - 1829) عالم بريطاني قدم العديد من الإسهامات البارزة في عدة مجالات مختلفة حيث أسهم في علم البصريات وعلم اللغة والفيسيولوجيا وميكانيكا المواد الصلبة والضوء وحاسة البصر والطاقة والتناغم الموسيقي. ومن أهم إنجازاته أبحاثه في دعم النظرية الموجية للضوء.

Vannevar Bush

فانيفر بوش (1890 - 1974) مهندس ومخترع أمريكي اشتهر بعمله على تطوير علوم الكمبيوتر.

Werner Heisenberg

فيرنر هايزنبرج (1901 - 1976) عالم فيزيائي ألماني حاز على جائزة نوبل عام 1932، في سنة 1925 قدم هايزنبرج قوانين جديدة تختلف تمامًا عن تلك الصيغ التي قدمها نيوتن، وقدم نظرية الكم التى أدخل عليها عدد آخر من العلماء بعض التعديلات ـ فأصبحت قادرة على تفسير حركة كل الأشياء صغيرها وكبيرها. ومن أهم نتائج نظرية الكم لهايزنبرج في تفسير حركة الذرات «مبدأ عدم اليقين».

William Bialek

وليام بياليك (1960 -.....) عالم أمريكي متخصص في مجال الفيزياء الحيوية ونظرية المعلومات.

William Thomson

وليام طومسون راجع لورد كلفن.

Wojciech Zurek

فوجسيش زورك (1951 -......) عالم بولندي في الفيزياء النظرية وله مؤلفات عديدة عن ميكانيكا الكم.

الهوامش

(*)(*) ممّا يدعو إلى السخرية، أن ياماموتو نفسه قد لقي حتفه بسبب معلومة التقطها الحلفاء. ففي أبريل 1943، اكتشفت مجموعة من مخابرات سلاح الإشارة الأسترالي أن ياماموتو كان ذاهبًا بالطائرة لتفقّد قوّاته في غينيا الجديدة، وكان هناك سربٌ من مقاتلات P-38 بانتظار طائرة الأدميرال التي تم قصفها فوق جزيرة بوجينفيل جنوب المحيط الهادي.

(**) لهذا تقوم مدارس تعليم الاختزال بالإعلان عن فصولها الدراسية برموز من نوعية «If u cn rd th ad u cn gt btr jb & mo pa» فالفقرة السابقة تعني «if you can read this advertisment you can get better job & mo pa» وترجمتها «إذا استطعت قراءة هذا الإعلان يمكنك الحصول على وظيفة أفضل وبمرتب سنوي».

(***) مع أنها كلمة سليمة تمامًا وفقًا لقواعد اللّغة البولندية ومعناها «الثالث».

(****) ـ الكليشية ليس أكثر من الإفراط في الاستخدام ـ إسهاب عالٍ ـ عند صياغة عبارة، تمامًا كما تستطيع استرجاع الحروف المتحرّكة المحذوفة من الكلمة، فإنك غالبًا ستعيد وضع الكلمة المفقودة من الجملة.

(*****) ـ حل الكريبتوجرام هو: This is a relatively simple coding scheme. It should not take much time to break it.

وترجمته «هذا المخطط مشفر بشكلٍ بسيطٍ نسبيًّا. لا يجب أن يستغرق وقتًا طويلًا لفكّ شفرته».

(******) اتخذت هذا الاسم نظرًا لأنّها كانت تحدث وهي تتحرّك مبتعدةً ضوضاء تكتكات مشؤومة شبيهة بتلك التي تصدرها القنابل عند انفجارها.

(*******) ـ من السخرية، أنه جرى مساعدة هذه اليوبوتات كما تضرّرت من تفكيك الشفرة، إذ قام مفكّك والشفرة الألمان بكسر شفرة قافلة سفن الحماية التي كانت ترافق سفن الحلفاء، ممّا سمح للبحرية الألمانية بإرس المجموعة من غواصّات اليوبوتات لاعتراض سفن الحماية المرافقة لسفن الحلفاء.

(********) ـ قبل ذلك بقرنٍ، فإن كلمة محرّك لم تكن تعني شيئًا محدّدًا أكثر من كونه شيئًا ميكانيكيًّا، لكن التصنيع أعطانا المعنى المحدّد لهذا الشيء الذي يمدّنا بالقوّة.

(********) ـ معظم المحرّكات تعمل بهذه الطريقة. فمحرّك البنزين الحديث ذو الأربع دورات، على سبيل المثال هو في الواقع محرّك حراري كهذا. فالصهريج الساخن عبارة عن خليط من الهواء والبنزين بعد الاشتعال، وتمدد هذا الخليط يدفع المكبس ويطلق الغازات الساخنة إلى الصهريج آليًّا (الهواء). لكنّه يختلف قليلًا عن المحرّك الحراري من وجهة نظر علماء الفيزياء.

(********) ـ عندما وجد علماء الفيزياء في القرنين السابع عشر والثامن عشر القاعدة الأساسية التي بدا أن الكون يتبعها، نعتوها بالقانون. وكان بعض هذه القوانين مهمًّا وعميقا كقوانين الحركة

وقانون الجاذبية العامة وقوانين الديناميكا الحرارية. لكن بعضها كان يفتقر للعمق ـ مثل قانون هوك (الذي يتناول حركة الزنبرك) أو قانون سنيل (الذي يصف انكسار الضوء عند انتقاله من وسط إلى آخر). بينما لايميل علماء الفيزياء المعاصرون إلى استخدام كلمة قانون التي تعني العصمة، والتي قد يتبيّن عدم صحتها عند تفحص تلك القوانين عن قرب. لذا فإن ميكانيكا الكمّو النسبية العامة يشار إليهما بنظريات أكثر من كونهما قوانين. مع أنه يمكن استخدام المصطلحين (بدرجة أو بأخرى) بالتبادل. (النظريات تنحو باتجاه الإشارة لإطار عام، أمّا القانون فإنه عادة ما يكون معادلة واحدة).

(********) ـ ثم ومن أين تأتي الطاقة المخزنة في الفحم؟ الفحم هو مادّة عضوية مضغوطة بشدّة كالخشب، والطاقة الكيميائية مخزنة في جزيئات مبنيه من الكربون. الخشب مليء بالطاقة المخزنة التي أخذتها الشجرة من ضوء الشمس ـ كأحد أشكال الطاقة ـ واستخدمته لتحويل الماء وثاني أكسيد الكربون إلى جزيئات مبنية من الكربون مخزن بها طاقة. لكن من أين يأتى ضوء الشمس؟ الشمس تأخذ ذرات الهيدروجين وتعمل على اتحادها. اتحاد ذرتين يولد الطاقة المخزنة فيهما (على شكل كتلة، كما توضح نظرية النسبية لآينشتين). ثم ومن أين تأتي كتلة الذرات؟ إنها أتت مع الكون ـ من الإنفجار العظيم. ومن أين جاء الإنفجار العظيم؟ هذا سؤال جيد... ولا يوجد أحد متأكد حقيقة من الإجابة عنه، بالرغم من وجود بعض التفسيرات الممكنة. لكن كلّ الطاقة (بما في ذلك طاقة/كتلة آينشتين) الموجودة حاليًا في كوننا قد خلقت مع الانفجار العظيم، ولم يتغيّر مقدارها منذ ولادة الكون حتّى الآن.

(********) ـ كلّ من لديه خلفية فيزيائية، يسلم بأنّ هذا التوازن هو في الحقيقة طريقة لمقولة الانتروبيا Entropy. المزيد عن ذلك في أو اخر هذا الفصل.

(********) ـ لقد أصبحت معروفة باسم النظرية الرياضية H، ويبدو ذلك لأن علماء الفيزياء الإنجليز قد أخطؤوا الحرف الألماني الكبير E على أنه H.

(********) ـ «التوازن» كانت طريقة للكلام عن الانتروبيا دون أن يتطلّب ذلك تقديمها بشكل رسمي.

(********) ـ لا تنزعج كثيرا من تلك المعادلة. لقد ذكرتها ليكون شكلها مألوفا، عندما تظهر مرة أخرى.

(********) ـ نظرية بولتزمان الرياضية H كانت، في الحقيقة، نظرية رياضية عن الانتروبيا. فعندما تبلغ الذرّات أقصى سرعة فإنها تزيد من انتروبيتها للحد الأقصى بافتراض أن منحنى الجرس لتوزيع السرعات مشوّش بدرجة ما، إنه توزيع ماكسويل/بولتزمان. لكن بحثًا عن الوضوح فسوف أتجاهل هذا التوزيع وسأتكلّم فقط عن الذرّات «الساخنة» و«الباردة»، كما لو كنت أتحدث عن كرات بلياردو ملونة بالأحمر أو الأزرق.

(********) ـ هذا المبدأ الرياضي يعرف باسم قانون الأعداد الكبيرة، ويقول في جوهره، إنّ حجم الانحراف عن السلوك المتوقّع يصبح أصغر وأصغر كلّما كان عدد الأحداث العشوائية أكبر وأكبر.

(********) ـ اقتباس من كتاب ليندلي، ذرّة بولتزمان، ص 71

(********) - حتّى طومسون الإنجليزي قام بإبدال العفريت المفرد والصمام المنزلق بحشد من العفاريت تستخدم مضارب الكريكيت ببراعة.

(********) - ائتمن شانون زميله في معامل بيل جون توكي على صياغة الكلمة، والحمد لله أن حلّت كلمة بتة bit محلّ الكلمة الأقبح بيجيت bigit، والتي كانت قد بدأت في الإنتشار في ذلك الوقت. بعدها تم صياغة المصطلح بايت byte ليعبر عن ثمانٍ بتات ونيبل nibble ليعبر عن أربع بتات أو نصف بايت. (وسيعرف توكي Tukey، بالمصادفة لمساهمته في تطوير أحد أهم الطرق الحسابية في علم الكمبيوتر، إنه تحويل فورير السريع the fast Fourier transform، لكن تلك قصة أخرى على أيّ حال).

(********) - في هذه الحالـة، لوغاريتم الرمز يمثّل لوغاريتم الأساس 2. حيث إن X= لوغاريتم N هو حل المعادلة N = 2< class="e char-style-override-45" xml:lang="en-US">×. يتجاهل علماء الرياضيات غالبا أساس اللوغاريتم؛ انظر الملحق «أ» عن اللوغاريتم لتعرف لماذا.

(********) - في الحقيقة، تميل الكمبيوترات إلى تمثيل الحروف بأكثر من خمس بتات. أحد التخطيطات الشائعة جدًّا، ASCII، يشفر كلّ حرف ببايت من المعلومات - ثماني بتات. وهذا أكثر مما تحتاج لتشفير الأبجدية الإنجليزية، لكن يعطى كمساحة للحروف الكبيرة capital letters والحروف الصغيرة lowercase letters وعلامات التنقيط والحروف الأجنبية وعدد آخر من الرموز المفيدة.

(********) - في الحقيقة، انظر في بداية هذا الكتاب. في صفحة معلومات حقوق الطبع والنشر، هناك ISBN، وهي شفرة مصممة بإسهاب، الرقم/الحرف الأخير اختبارًا للتأكّد من أن الآخرين قد تم إدخالهما بشكل سليم. وها هي طريقة عمل شفرة الـISBN للشغوفين فعلًا وللعباقرة غريبي الأطوار: تجاهل رقم الاختبار للحظة - الرقم الأخير مسبوقًا بشرطة - والآن اضرب الرقم الأول في 10، والثاني في 9 وهكذا، إلى أن تضرب الرقم التاسع في 2. اجمع ناتج الضرب كلّه واقسمه على 11 وخذ ما يتبقى واطرحه من 11 فيكون الناتج هو رقم الاختبار؛ في حالة ما إذا كانت إجابتك 10 سيكون رقم الاختبار هو الرمز x. بالطبع هناك أيضًا شريط رمزي على ظهر الكتاب، وهو أيضًا اختبار مبنيّ داخليًّا، لكن لهذا قصة أخرى.

(********) - ليست فقط اللغة المكتوبة هي المسهبة. اللغة المنطوقة أيضًا هي تيار من الرموز، بالرغم من أن الرموز سمعية أكثر منها مكتوبة. الرمز الأساسي للغة المنطوقة هو الفونيم phoneme بدلا من الحرف. ولكن ما إن تضع ذلك في الحسبان فإن التحليل نفسه ينطبق. وأحد مصادر قوة نظرية شانون أنها لا تهتم فعلا بكيفية إيصال المعلومات، فالرياضيات تبقى هي نفسها.

(********)(*) - ترايبس وماك إيرفين Tribus and McIrvine «الطاقة والمعلومات» ص 180

(********) - كيف يمكن لرسالة من «11111111...» أن لا تحتوي على معلومات بينما تحتوي أخرى «11111111...» على الكثير منها؟ إذا كان تيار الأرقام طويلًا بشكل لانهائي، فلن يكون هناك إطلاقًا أي فرصة لأي مصدر «يبدو عشوئيًّا» لإنتاج رسالة من كلّ الآحاد، فشكرًا لقانون الرياضة المعروف بقانون الأرقام الكبيرة. لذا ففي حالة الرسائل الطويلة غير النهائية، يمكنك دائمًا

التمييز بين مصدر «يبدو عشوائيًّا» وبين مصدر «الآحاد الدائمة» بالنظر إلى رسالة مفردة. بكلمات أخرى لا يوجد فرق بين محتوى الرسالة من انتروبيا/معلومات وبين محتوى مصدر الرسالة من انتروبيا/معلومات. في العالم الواقعي، مع ذلك، فإن الرسائل متناهية. هناك احتمالية صغيرة أن مصدرًا غزير المعلومات «يبدو عشوائيًّا» سينتج رسالة تبدو غير عشوائية. حتّى إنها تبدو مثل التي ينتجها مصدر بلا معلومات «دائم الآحاد». تلك الاحتمالية ضئيلة جدًّا ـ في رسالة من ثماني بتات فالفرصة أقل من 0,1%، في رسالة من ستّ عشر بتة، أقل من 0,0016%. في الواقع، إنها مثل قذف كرات البليفي الصندوق. إنّ احتمالية الحصول على رسالة من مصدر «يبدو عشوائيًّا» والتي يبدو أنها جاءت من مصدر غير عشوائي مشابه لاحتمالية استقرار كلّ أو غالبًا كلّ كرات البلي في جانب واحد من الصندوق. إنها احتمالية، لكن في نظام كبير بشكل معقول سيكون هذا من غير المحتمل جدًّا، الأمر الذي يكفي لتجاهله. لذلك، في معظم الحالات ـ خاصة تلك التي تكون الرسائل فيها كبيرة بما يكفي أو عندما يشكل التيار مجموعة كبيرة من الرسائل بشكل كافٍ ـ فإن محتوى انتروبيا/ معلومات تيار الأرقام مشابه بدقّة لسعة مصدر تلك الرسالة من الانتروبيا/ المعلومات. هذا التعادل إحصائيٌّ، تمامًا كما أن القانون الثاني للديناميكا الحرارية إحصائي.

(********) ـ قام أرثر سي كلارك Arthur C. Clarke بوصف آلة شانون القصوى: «لا شيء يمكن أن يكون أبسط. إنها تابوت خشبي صغير، في شكل وحجم صندوق السيجار، بمفتاح وحيد على جانب واحد. عندما=

= تدير المفتاح تكون هناك طاقة وأزيز هادف. يرتفع الغطاء ببطء لتبرز من تحته يد. اليد تصل إلى أسفل وتغلق المفتاح ثم ترتد إلى الصندوق. وبنهاية إغلاق التابوت ينطبق الغطاء ويتوقّف الأزيز ويسود السلام مرة أخرى. إذا كنت لا تعرف ما الذي تتوقعه، فإنّ التأثير النفسي يكون مدمرًا. هناك شيء مشؤوم لا يوصف بخصوص آلة لا تفعل شيئًا ـ لا شيء مطلقًا ـ سوى أن تغلق نفسها. مقتطف من سولان ووينر، «سيرة كلّود إلوود شانون».

(********) ـ ملاحظة بريّوين ـ كلّما زادت انتروبيا النظام، كلّما قلت المعلومات التي يحتوي عليها ـ تبدو عكس ما ألمحت إليه عندما قمت بعرض مثال كرات البلي والصندوق. في الحقيقة، فإن الاثنين هما الشيء نفسه.

(********) ـ كما سنرى في فصل لاحق، نحن نتحدّث هنا عن الكمبيوترات «الكلاسيكية» وليس الكمبيوترات الكمية.

(********) ـ مقتبس من Leff and Rex, eds. Maxwell's demons2,335

(********) ـ لوغاريتم الإنزيمات كان تنفيذه سهلًا لأن ّمشكلة الحصان يمكن أن تختزل إلى مجموعة من الجمل المنطقية. جملة واحدة يمكن أن تكون: «إما أن يكون المربع الأعلى إلى اليسار فارغًا، أو يجب أن يكون كلا المربعين اللذين يهددهما الحصان فارغين». لتحقيق تلك الجملة، قسمت لاندفيبر المكتبة إلى قسمين، قسم مغمور بالإنزيمات التي تستهدف التسلسل الذي يعني «هناك حصان في المربع الأعلى إلى اليسار»، وأضافت إلى القسم الآخر انزيمين يستهدفان التسلسل الذي يشير إلى وجود حصان في الموضعين المهددين. بعد غربلة كلّ الشظايا المكسرة، لم يعد هناك أي قسم به خيط DNA الذي يحتوي على التسلسلات التي بها كل من «حصان في

المربع الأعلى إلى اليسار» و«حصان في أحد الموضعين المهددين من ذلك المربع». بعد ذلك قامت لاندفيبر بدمج القسمين، لم يعد هناك تسلسل في المكتبة به حصان في المربع الأعلى إلى اليسار وحصان في أي من الموضعين اللذين يهددهما الحصان. وقامت بتكرار العملية مع كلّ المربعات ـ إمّا لا يوجد حصان في المربع 1 أو لا يوجد حصان في المربعين 6 و8؛ وإما لا يوجد حصان في المربع 2 أو لا يوجد حصان في المربعين 7 و9؛ وهكذا. بعد كلّ التقسيمات والتفسخات والدمج، لم يترك خيط DNA بحيث يهدد أيّ حصان حصانًا آخر.

(********) ـ جين «امتثل للملكة» هو قصة في المتناول، بعدة صفات وراثية وسلوكيات، فمثل «امتثل للملكة»،=

= لا يمكن الاشارة إلى جين مفرد أو وحيد بأنه السبب. إنه نتاج تفاعلات مركبة للتعليمات في الشفرة الوراثية بتلقين من الطبيعة. ومع ذلك، فمجمل الحجة التي طرحتها تبقى كما هي، سواء كان البرنامج بسيطًا، جينا واحدًا أو ما هو أكثر تعقيدًا. لذا، فأنا أحيل إلى أشياء مثل جين «امتثل للملكة» برغم أن السلوكيات والصفات الوراثية التي أتكلّم عنها نادرًا ما يتم السيطرة عليها بشيء بسيط جدًّا كجين وحيد.

(********) ـ داوكينز، ذكر حكاية الجين t (كما ذكر عددًا من الأسباب الأخرى للاعتقاد بأن الكائن الحي يجب أن يعتبر أداة لحمل المعلومات التي بداخله) في كتابه الشهير «الجين الأناني».

(********) ـ لأن الميتوكندريا مسافرة عابرة، فيمكن الاستغناء عن إنتاجها لبعض البروتينات الهامّة المسئولة عن ميكانيكا الخلية، DNA الخاص بالميتوكوندريا البشرية يحتوي تقريبًا 33.000 بتة من المعلومات، تقريبًا أقلّ ممّا يحتويه تسلسل الحروف الذي يصنع هذا الفصل.

(********) ـ المتحقّقون من الأخطاء يعملون بشكل جيّد جدًّا، لكن ليس بكمال تام. فعند مجرد الفشل في التقاط الخطأ الذي يستعد للمضاعفة عند انقسام الخلايا، تحدث الطفرة. والطفرات ضارة غالبًا، وتتسبب في تأثيرات غير مرغوبة. ربّما تتسبّب حتّى في قتل الكائن الذي تحدث فيه الطفرة، وبمعنى ما، تلك هي الآلية الأخيرة للتحقّق من الخطأ. فتجاوز طفرات الجينات الأساسية لحياة الكائن الحي غير مرجح (لأنها قد تفسد تلك الوظيفة الأساسية)، لكن طفرات المعلومات غير الأساسية (مثل كتلة المسافرين العابرين أو نسخ الجينات الزائدة) لا تمتلك القدرة على التحقق الأخير من الخطأ. هذا يعني أن المعلومات غير الأساسية تقلّ استقرارًا من جيل إلى جيل؛ ومن المرجح أن تحتوي طفرات. وفي الحالات النادرة حيث يكون لتلك الطفرة أثر مفيد، سيكون من المرجح تجاوزها، لأن الكائن العائل سيستفيد من هذا التعبير الجيني.

(********) ـ عدد قليل من الكائنات لا يعتمد على الشمس كمصدر للطاقة، فبعض المخلوقات قادرٌ على استخدام الحرارة التي بداخل الأرض (التي تأتي، هذه الأيام، بدرجة كبيرة من التحلل الإشعاعي للعناصر) والمواد الكيماوية التي يلفظها باطن الأرض الساخن. لا يهم حقيقة من أين تأتي الطاقة، لكن الطاقة لا بدّ أن تبقى هناك في أشكال قابلة للاستخدام لكي توجد الحياة.

(********) ـ يستطيع العلماء المجيء بتواريخ تقريبية للأحداث البارزة في التاريخ الجينى ـ مثل عنق الزجاجة الجيني أو خلق فرع جديد على شجرة الحياة ـ لأنّ المعلومات في الجينات مجهزة بساعة، إنها الطفرات. وبالرغم من عدم اليقين المتأصل في هذه التقنية بدرجة ما، ووجود تناقضات معتبرة حول مدى دقة تلك الساعات، إلا أنّ العلماء يستطيعون تقديم تقدير تقريبي لعمر

تلك الأحداث بمشاهدة كيفية انتشار الطفرات خلال جينات الإنسانية. وإذا تناولت الكيفية التي تحدث بها الطفرات غالبا، ستتمكن من اكتشاف كيف انفصل شعبان أو نوعان عن بعضهما في الماضي. فبمقارنة القطعة نفسها من المعلومات في الجينوم الخاص بالمجموعتين ورؤية درجة اختلاف الجينومين ـ كمعدد الطفرات التي حدثت منذ أن كانت القطعتان متماثلتين ـ يمكن تكوين وجهة نظر تقريبية عن وقت حدوث الانفصال.

(********) ـ مع أن المعلومات شاهدة على التطوّر، فالمؤمنون بالخلق يحاولون استخدام نظرية المعلومات لمهاجمة التطوّر. في الواقع، نظرية التطوّر مفترض أنها حصن لحركة «التصميم الذكي»، لكن حجج نظرية المعلومات التي يستنتجونها بها تصدعات حادّة. على سبيل المثال فهم يقدّمون حجة أنّ قيام الجينوم بجمع مزيد من المعلومات بمرور الوقت يعد انتهاكًا لقوانين الديناميكا الحرارية. إلا أنّ طاقة الشمس وإراقة انتروبيا الأرض يسمحان في الحقيقة للكائنات الحية بتناسخ وتعديل جينومها والإبقاء عليه، بما يزيد غالبًا من كمّية المعلومات التي يحتوى عليها الجينوم. نظرية المعلومات لا تتعارض التطوّر فالوضع بالعكس تمامًا.

(********) ـ بالرغم من أنّ الأمر لا يتطلب ذلك، إذا ما رغب شخص يستطيع أن يدخل فيروسًا، ولنقل، رحلات جليفر إلى جينومه، وسيتم حفظها لعدّة أجيال.

(********) ـ قدم مارك توين Mark Twain، هذا الوصف في أواخر القرن التاسع عشر حيث كتب: تلاحظ كيف تبتعد الأفعال عن القواعد التي يتبعها القارئ.... «حسنًا، ففي صحيفة ألمانية يضعون الأفعال بعيدًا في الصفحة التالية وسمعت أحيانًا أنها بعد سلسلة التمهيدات المثيرة والجمل الاعتراضية لعمود أو اثنين، فإنهم يهرولون إلى الطباعة بدون أية أفعال على الاطلاق» Mark Twain, < class="E-h char-style-override-46" xml:lang="en-US">A Tramp Abroad (New York: Penguin, 1997), 392.

(********) ـ هناك استثناء محتمل لذلك، وهو ما سيتم شرحه لاحقًا في هذا الكتاب: إنّ المعلومات في رؤوسنا هي معلومات كمّية بدلًا من كونها معلومات تقليدية.

(********) ـ التحويل إلى بتات لا يبدو أمرًا مستقيمًا كما يبدو من الظاهر، مع أنّ إشارات العصبونات عبارة عن أصفار وآحاد، فإنّ مخطط التشفير في المخ يستخدم التوقيت لتلك الأصفار والآحاد بدلًا من معالجتها ببساطة على أنها سلسلة من البتات. ومع ذلك، تقول نظرية شانون إنّ تلك الشفرة، وكما تبدو معقّدة، يمكن اختزالها إلى سلسلة من البتات.

(********) ـ أسهل طريقة لعمل شكل متداخل لطيف، هو إضاءة مؤشر ليزر بموازاة مرآة الحمام ـ قم بعمل بقعة على الحائط عمودية على المرآة. عندما تنظر في المرآة إلى انعكاس البقعة، سترى شكلا من الخطوط الساطعة والمظلمة، من السهل أن ترى شكلا للتداخل. هذا الشكل سببه ظاهرة أكثر تعقيدًا قليلًا من ظاهرة الفتحتين: فهي بسبب أنّ ضوء الليزر يرتد عن المرآة ويتداخل مع ضوء الليزر المرتدّ من الزجاج الذي يغطى المرآة. غير أنّ، المبدأ مماثل لتجربة الفتحتين.

(********) ـ لأن علماء الفيزياء المعاصرين يعرفون أنّ سرعة الضوء ثابتة، فقد استخدموا جهاز مايكلسون لقياس التداخل من أجل قياس المسافة بدلًا من السرعة. إذا كان ذراعا الجهاز مختلفين في الطول قليلًا، فإنّك ستحصل على البقعة المظلمة بدلًا من البقعة الساطعة.

(********) هناك تجربة أخرى، بأثر رجعى، بدت كأنها تكذب فكرة الأثير. ففى منتصف القرن التاسع عشر، قام عالم الفيزياء الفرنسى أرمند فيزو Aemand Fizeau بقياس سرعة الضوء في تيار من الماء، متوقعا أن =

= الأثير سيتم سحبه مع جريان الماء، لكنه لم ير مثل هذا التأثير. في الحقيقة، يبدو أن آينشتين كان متأثرا أكثر بتجربة فيزو وملاحظاته حول تغير المواقع الظاهرية للنجوم في السماء وفقا لمدار الأرض ـ وهى الظاهرة التى تعرف بالانحراف النجمى stellar aberration، بسبب السرعة المحدودة للضوء أكثر من تأثره بتجربة مايكلسون/مورلى.

(********) ـ من المثير، أن آينشتين كان لا يعرف في المدرسة تجربة مايكلسون/مورلى وكان من المفترض أن يقوم باختبار مماثل على الأثير. لكن مدرسه ضيق الأفق الذى سبقت الإشارة إليه، هينريك فيبر Heinrich Weber، قد رفض قيام آينشتين الصغير بالتجربة. ويبدو أن فيبر لم يفكر كثيرا في هذا النوع الجديد من فيزياء ذلك الزمن.

(********) ـ تستنبط الأرقام، حتّى بالرغم من أنها ليست واضحة. اعتاد علماء الرياضيات على تبادل المنظورات فيما يعرف بتحويل لورينتز Lorentz transformation، وهو معقد بأكثر قليلا من الإضافة البسيطة لتحويلات سرعة الحياة اليومية التي اعتدنا عليها.

(********) ـ هذه التقنية معروفة باسم تحول فورييه على اسم مخترعه، جان باتيست جوزيف فورييه Jean-Baptiste Joseph Fourier. أرسل فورييه تقريبا إلى المقصلة تقريبا في عام 1794، وأثناء حقبة الإرهاب الفرنسية كان يعمل مستشارًا علميًّا لنابليون.

(********) ـ نعم، يبدو أنّ هذا لا يصدق، لكنّه نتيجة طبيعية لقوانين ميكانيكا الكم، التي سوف يتم شرحها بتفاصيل أكثر في الفصل التالي.

(********) ـ توصل آينشتين إلى تلك الخلاصة بمحاولة حساب انتروبيا الضوء الذي يتدفّق بعيدًا عن الشيء المعروف نظريًّا بالجسم الأسود. إنّ جذور النظرية الكمية مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بالديناميكا الحرارية والميكانيكا الإحصائية.

(********) ـ إنها تشرح تأثيرات أخرى أيضًا، مثلما يسمّى قاعدة ستوكس Stokes للموادّ الفسفورية. فإذا أطلقت على بعض الأملاح، مثل بعض أشكال كربونات الكالسيوم، ضوءًا ذا طاقة عالية فسوف يتوهّج. قاعدة ستوكس تقول إنّ التوهج دًّائمًا لونه أكثر احمرارًا ـ أقل ترددًّا ـ من الضوء الذي تسلطه على المعدن. يصعب تفسير هذا بالنظرية الموجية للضوء، لكن يسهل تفسيره بالنظرية الكمية: عندما يفرغ جسيم الضوء طاقته في ذرة، تعيد الذرّة بعثت لك الطاقة. حزمة الطاقة التي تنبعث من الذرّة يجب أن تقل عن أو تساوي الطاقة التي تمتصها، وتردّد الفوتون المنبعث يجب أن يقلّ عن أو يساوي تردّد الفوتون الممتصّ.

(********) ـ أحيانًا تكون الدقّة مذهلة تمامًا. على سبيل المثال، تتنبّأ النظرية بكيف يتلوّى الإلكترون في المجال المغناطيسي. قم بتوصيل القابس plug in the numbers وستكتشف أنّ النظرية تتوافق مع الملاحظات حتّى تسع خانات عشرية. كما لو أن النظرية تتنبأ بالمسافة بين الأرض والقمر بعدم يقين حوالي متر واحد.

(********) - هذا ليس نفس الشيء مثل الحالة الوسط بين (0) و(1)، فلنقل (0.5). وهو سهل أن تراه إذا فكرت فيه بمصطلحات الاتجاهات. إذا كان (0) يعني الاتجاه لليسار و(1) يعني الاتجاه لليمين، ستكون (0.5) إلى الأمام مباشرة. لكن تطابق التراكب لـ(0 و1) هو اليسار واليمين في الوقت نفسه. وهو شيء مستحيل بالنسبة لموضوع كلاسيكي غير قابل للتقسيم مثل الإنسان.

(********) - هناك عددٌ من التفسيرات المختلفة للنظرية الكمية، يختلف علماء الفيزياء حول المعنى الفعلي لأن يكون الجسم الكمي في مكان ينفي الوقت نفسه. (في هذا الكتاب، اخترت تفسيرًا أعتقد أنه سيجعل النصّ أكثر وضوحًا في الفصل السابع). فبغض النظر، توافق كلّ التفسيرات على أنك لا تستطيع شرح السلوك الكمي بوضعه في إطار كلاسيكي. النظرية الكمية تجبرك حقيقة على التخلص من أفكار الفطرة السليمة للفيزياء الكلاسيكية بطريقة ما. في كلّ التفسيرات تكون الأشياء الكمية في تطابق تراكب، ولديها فقط أفكار مختلفة عما يمثله تطابق التراكب.

(********) - من المثير للاهتمام، أن هذا صحيح حتّى لو تلاعبت فقط بواحد من المسارين، فلنقل المسار(ب) بسلك اعتراضي. إذا أرسلت إلكترونا إلى مقياس التداخل واختار المسار (ب) فإن الليزر سيكتشف مرور الإلكترون، وستحصل على بتة واحدة من المعلومات عن أي مسار اتخذه. إذا اختار المسار (أ) فليس لديك جهاز معدل اكتشاف مروره، لكن عدم طقطقة الكشاف ستخبرك بأنه لم يأخذ المسار (ب): وأنه أخذ المسار (أ). لذا، بالرغم من أن لا شيء قد مر على الليزر، فمازلت تحصل على بتة واحدة من المعلومات. السلك الاعتراضي على المسار (ب) يدمر تطابق التراكب للإلكترون حتّى بالرغم من أنّ الليزر لم يلمس أبدًا الإلكترون، وبعد كلّ شيء، لقد اتخذ المسار (أ) وليس المسار(ب).

(********) - العزم الحركي هو قياس كمية الحيوية oomph التي يمتلكها جسيم. وهي مرتبطة بكتلة الجسيم وسرعته. السيارة التي تتحرك بسرعة 5 أميال في الساعة لها عزم حركي أقل من تلك التي تتحرك بسرعة 30 ميل في الساعة، السيارة التي بسرعة 30 ميل سترتطم بك بقوة أكبر لو صدمتك. وبالمثل، الشاحنة التي بسرعة 30 ميل في الساعة لها عزم حركي أكبر من سيارة تسير بالسرعة نفسها.

(********) - في الواقع إنها حدود الطبيعة كذلك... كما سنرى في الفصل القادم

(********) - وصف هيرمان ويل Hermann Weyl عالم الرياضيات الشهير اكتشاف شرودنجر للنظرية بـ«فوران جسيم تأخر».

(********) - لحسن حظّ علماء الفيزياء، فإنّ جمعيات الرفق بالحيوان لا تغضب كثيرًا من تجارب التفكير هذه.

(********) - إنّه نتيجة منطقية لقانون حفظ العزم الحركي وبقائه.

(********) - في الواقع، حتّى بدون تطابق التراكب، فإنّ التشابك يسبب مشاكل شبيهة. البحث الأصلي لزوج EPR يوضح مشكلة كامنة لأنّ معرفة العزم الحركي لجسيم وموضعه بشكل متزامن يجب أن يناقض مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج. تطابق التراكب - بالإضافة إلى - صيغة التشابك هو تحسين لاحق لفرض آينشتين ابتكره عالم الفيزياء ديفيد بوم David Bohm.

(********) - هناك أيضًا مبتكرات كمية أكثر تعقيدًا مثل الكيوترتات qutrits والكيونتات qunits، لكن في هذا الكتاب سنكتفي بالكيوبتات

(********) - تذكر، تطابق التراكب ليس مكافئًا للوجود في مكان ما بين حالتين، المصباح الخافت أو كرة البلياردو في وسط المنضدة أكثر منها في اليسار أو اليمين مازالت في وضع غامض بوصف المصطلحات الكلاسيكية للبتات. الشيء الكمي ليس في حالة محددة مثل ذلك،إنه يتخذ قيمتين بالتزامن، لذلك فهو في حالة تطابق التراكب، يتخذ قيمتين متناقضتين في الوقت نفسه.

(********) - في الحقيقة، يستخدم العلماء مايعرف باسم تدوين البرا - كيت bra-ket notation لوصف الحالة الكمية لشيء. البرا هي موضوع رياضي ويرمز له بـ < |، والكيت هو موضوع رياضي وثيق الصلة يرمز له بـ| >. فقطة شرودنجر في وضع تطابق تراكب يمكن كتابتها بالكتات كما يلي: - | > | + < class="e char-style-override-43" xml:lang="en-US">0 class="e char-style-override-43" xml:lang="en-US">1 < < (مقسومًا لأسباب تقنية على الجذر التربيعي لـ2) لماذا تستخدم الكتات؟ إنها قصة طويلة... لكن هل حاولت أبدًا وضع قطة في صديرية bra؟!

(********) - وفي الواقع كان الإنجاز أقلّ إثارة للإعجاب عمّا بدا. لقد استخدم ميزة أن 15 أقلّ من 2 4 بواحد، موفرًا ذاكرة قليلة في هذه العملية.

(********) - في الواقع،تلك المشكلة مرتبطة بالخلاف حول إذا ما كان الكمبيوتر ذو الغزل الذرى هو في الحقيقة كمبيوتر كمي، وما الذي يجعل الكمبيوتر «كميًّا»، لكن تلك ورطة كبيرة. فالشيء المهم أنّ تلك الكمبيوترات تقوم بعمل طرق حساب كمية بمعلومات كمية.

(********) - على اسم الفيلسوف زينو الإيلى Zeno of Elea، الذي افترض أنّ تقسيم سباق العدْو إلى أجزاء صغيرة لا نهائية سيجعل من المستحيل إكمال السباق.

(********) - نعم، فقد تصدر صوتًا إذا سقطت. بلا شكٍ كما يقول رهبان البوذية.

(********) - عندما افترض ذلك في الأول، كان التفكيك سبرًا للأعماق أحمق جدًّا goofy، حيث وجده هانز ديتر زي Hans Dieter Zeh أحد المؤيدين المبكرين في الماء الساخن. ولكن منذ حينها أصبح التيار هو الرئيسي تمامًا، وقد لوحظ بطرق أخرى،أنّه مماثل للانتروبيا، لكن كما سيصبح واضحًا فيما بعد، يمكن القول إنه الظاهرة الأكثر أساسية.

(********) - حتّى الأكثر غرابة، أنّ الجسيمات المتشابكة،على الأقل في النظرية، سوف تظهر هذا الترابط حتّى لو حدث القياس قبل أن تتشابك الجسيمات بعضها ببعض. وهذا يعرف بتجربة «الاختيار المتأخّر»، بمعنى أن حالة التشابك توجد حتّى قبل أن تعرف الجسيمات أنّها متشابكة.

(********) - مع أنّ هناك بعض الدلائل الواعدة - المزيد عن هذا في الفصل التاسع.

(********) - قد يكون الاختلاف صوريًّا. ميكانيكا الكم لاتفرق بين الجسيمات، فالإلكترون الواحد يماثل كلّ إلكترون آخر في الكون، على سبيل المثال. الفرق الوحيد في حالتها الكمية - المعلومات الكمية التي تحملها - فإذا أخذت الحالة الكمية للإلكترون «أ» ونقلتها عبر الكون، ثم أعدت تركيبها على الإلكترون «ب»، عندئذٍ لن يكون هناك فرق بين الإلكترون الأصلي (الذي دمرت الآن حالته الكمية،حسب قاعدة عدم الاستنساخ) وبين الذي تم إعادة تركيبه في نهاية عملية النقل الفضائي.

بمعنى ما، السيد سبوك في الواقع لا يمكنه البقاء حيًّا خلال عملية النقل الفضائي. إنه سيدمّر بينما النسخة المضبوطة تخرج من الناقل الآخر. لكن إذا لم يستطع أحد أن يعرف الفرق بين سبوك الأصلي والنسخة ـ ليس النسخة وحسب ـ سواء هو النسخة فعلًا أم أنه الأصلي؟ إنه سؤال الفلاسفة، وليس العلماء،لكني يجب أن أعترف بأني أرفض الذهاب والانتقال فضائيًّا في رحلة عبر النجوم إذا وجد هذا النوع.

(********) ـ هذا صحيح للثقوب السوداء العادية، تلك التي هي فقط أكبر من كتلة شمسنا بعشرات أو مئات المرات. هناك صنف آخر من الثقوب السوداء، مثل الثقوب السوداء فائقة الكتلة، التي تقع في مركز المجرات. الواحد الذي يقع في قلب مجرتنا (القوس أ*) Sgr A* (Sagittarius A*)، يزن حوالي أكثر من 2.5 مليون شمس، والعلماء غير متأكدين من كيفية تشكلّه، مع أن القواعد الفيزيائية نفسها تنطبق على الثقوب السوداء فائقة الكتلة (ومتوسطة الوزن) مثلما على التنويعات العادية.

(********) ـ بريسكل، «مراهنة الثقب الأسود».

(********) ـ ملاحظات المؤلّف أثناء مقابلة مع ستيفن هوكينج، 21 يوليو 2004

(********) ـ معادلة آينشتين عن نظرية النسبية تعالج الزمن كبعد آخر. لذلك فكوننا له أربعة أبعاد، وأفق الحدث ثلاثي الأبعاد. ولغرض التبسيط، فسألتزم بالأشياء الثنائية والثلاثية الأبعاد، خاصة لأن بعض النظريات، مثل نظرية الأوتار، تأخذنا حتّى عشرة أبعاد أو أحد عشر بعدًا.

(********) ـ أو، بأكثر دقّة، مخلوقات ثلاثية الأبعاد تعمل تحت وهم أنها رباعية الأبعاد. إذا لم تكن تلك الفكرة غريبة بما يكفي.

(********) ـ لا تنزعج، إذا بدا ذلك بلا معنى، لكن نصف قطر تلك الكرة أكبر فعليًّا بعض الشيء من 13.7 مليار سنة ضوئية. هذا لأنّ بنية الفضاء تتمدّد باستمرار. فإذا كان لدينا، منذ 14 مليار سنة، لقطة فوتوغرافية للكون، نستطيع أن نرسم دائرة بحجم 14 مليار سنة ضوئية حول نقطة في الفضاء والتي ستصبح أخيرًا الأرض. أي شيء ضمن تلك الكرة سيتصل سببيًّا بالأرض فيما بعد 14 مليار سنة. لكنّ بنية الفضاء والزمن ليست لقطة فوتوغرافية، فيما بعد 14 مليار سنة ستتمدّد الكرة إلى نصف قطر حوالي 40 مليار سنة ضوئية. نحن نستقبل ضوءًا من أشياء في تلك الكرة ذات الـ40 سنة ضوئية،حتّى مع أنّ عمر الكون أقل من 14 مليار سنة. (إنه نتيجة عجيبة لرياضيات النسبية، تذكر، أنه يأتي إلينا بسرعة 300,000,000 متر في الثانية بصرف النظر عن حركة الأرض ـ وهذا يشمل الحركة بسبب تمدّد الزمكان) مع ذلك، ليس له علاقة إطلاقًا إذا ما كان نصف قطر الكرة 14 أو 40 أو 6 زليون مليار سنة ضوئية. فكلّ ما يهم هو أنّ الكرة محدودة.

(********)(*) ـ لأنّ تفاصيل نظرية التضخم خارج نطاق هذا الكتاب، فإن القراء المهتمين يمكنهم مراجعة كتابي عن علم الكونيات، ألفا & أوميجا.

(********) ـ حقيقة، لايهمّ فعلًا مدى عدم أرجحية دالتنا الموجية الخاصة، فإنّ الجدل التالي سيبقى طالما الدالة الموجية #135 مستحيلة.

(********) - خلال هذا الكتاب، أنا أستخدم مفردات من كلّ تلك التفاسير لكي تجعل من الأسهل عليّ إيصال النقطة التي أتناولها. النتيجة هي شيء هجين، تقاطع بين تفسير كوبنهاجن حيث الدالة الموجية تعتبر شيئًا حقيقيًّا وبين العديد من التفسيرات للعالم. حتّى مع أنّك ربما تختار تفسيرًا مختلفًا عن الذي أستخدمه، فإنه غير مرتبط جدًّا بالظاهرة التي أتحدث عنها في الكتاب. ولا مفر من تمييز أي تفسير «صحيح»، فهي تقريبًا متكافئة في توقعاتها المتشابهة تمامًا عندما تأتي إلى التجربة التي تم أداؤها في الماضي، وربما سيعاد أداؤها في المستقبل القريب. وربما لا توافق على مقولتي الجريئة بأن الإلكترون يمكن أن يكون في مكانين في الوقت نفسه - ربما تعتقد أن هناك فقط إلكترونا واحدا وأنها «الموجة الدليلة» pilot wave هي التي تتواجد في مكانين في الوقت نفسه - لكن محصلة كلّ التجارب التي أصفها ستكون هي نفسها تمامًا. الأكثر من ذلك، أن كلّ التفسيرات توافق أن هناك اختلافًا أساسيًّا بين العالم الكلاسيكي والعالم الكمي، وكلّها تبيّن أنه من المستحيل شرح، فلنقل، تجربة الفتحتين، مع شيء واحد كلاسيكي يمرّ خلال فتحة واحدة بدون أن يخلق بعض الآليات الجذرية الجديدة لشرح كيف أنها تستطيع أن تتداخل مع نفسها.

كيف بدأ الكون؟ وكيف تشكّل؟ ولماذا سارت الأمور وتسير على هذا النحو؟ وما القوانين التي تتحكّم في حركة أجزائه؟ وما المصير الذي ينتظره؟ وهل توجد أكوان أخرى غير هذا الكون الذي نعيش فيه؟ ما طبيعة الحياة؟ وكيف يمكننا كبشر تفسير ما لا يفسّر حيث تتحطّم أدواتنا المعرفية من المعادلات الرياضية إلى القوانين الفيزيائية حتّى المبادئ والأسس التي يقوم عليها العلم نفسه، كما يحدث في الثقوب السوداء أو في اللّحظة التي سبقت الانفجار العظيم؟

في "فكّ شفرة الكون" يحاول المؤلّف الإجابة عن هذه الأسئلة اعتماداً على أحدث نظريات المعرفة الإنسانية المتمثّلة في "نظرية المعلومات" وهي النظرية المعنيّة بتقديم تفسير بشري لمظاهر هذا الكون المرئي وظواهره كافّة بل وللأكوان غير المرئية.

يقدّم هذا الكتاب رؤية بانورامية شاملة لسعي الإنسان الحثيث إلى تفسير الظواهر الطبيعة التي يقابلها، ويصحبنا بإمتاع إلى حلّ العديد من ألغاز الكون.





بيروت - القاهرة - تونس
www.dar-altanweer.com